

武汉大学

本科生课程讲义及知识总结

课程名称: 遥感原理与方法

开课学院: 遥感信息工程学院

开课时间: 2019-2020 年度第二学期

2020.武汉大学



目录

第一章·概述	3
➤ 遥感的概念	3
➤ 遥感的类型	3
➤ 遥感的特点	3
➤ 遥感技术系统的组成	4
➤ 遥感在中国的发展	4
第二章·电磁波及遥感物理基础	5
➤ 电磁波谱与电磁辐射	5
➤ 太阳辐射及大气对辐射的影响	7
➤ 地球辐射与地物波谱	8
➤ 地物波谱测量	11
第三章·遥感平台及运行特点	12
➤ 遥感平台的种类	12
➤ 卫星轨道参数及轨道特点	12
➤ 卫星坐标、姿态的测量与结算	14
➤ 几种主要的地球资源遥感卫星及其运行特征	14
第四章·遥感传感器及其成像原理	15
➤ 传感器的组成	15
➤ 遥感传感器类型	16
➤ 典型传感器成像原理	16
第五章·遥感图像的几何处理	22
➤ 遥感传感器的构像方程	22
➤ 遥感图像的几何变形	25
➤ 遥感图像的几何校正	27
➤ 遥感影像镶嵌	30
第六章·遥感图像的辐射处理	30
➤ 遥感图像的辐射定标与校正	30
➤ 遥感图像的融合	38
➤ 遥感图像的四则运算	42
第七章·遥感影像判读	45
➤ 景物特征和判读标志	45
➤ 目视判读的一般过程和方法	47
➤ 遥感图像目视判读举例	48
第八章·遥感影像自动识别分类	48
➤ 基础知识	49
➤ 特征变换与特征选择	50
➤ 监督分类	50
➤ 非监督分类	53
➤ 分类后处理与精度评价	53
➤ 遥感影像分类识别新方法	54

第一章 · 概述

➤ 遥感的概念

1. 广义的遥感：遥远的感知。
2. 在科学领域中的遥感：泛指一切无接触的远距离探测。
3. 本课程中讨论的遥感：使用安放在**承载工具（平台）**的**某种装置（遥感器）**，在不直接接触被研究的目标情况下，感测目标的特征信息（一般是**电磁波**的反射辐射或者发射辐射），经过传输、处理，从中提取人们感兴趣的~~信息~~的过程。

➤ 遥感的类型

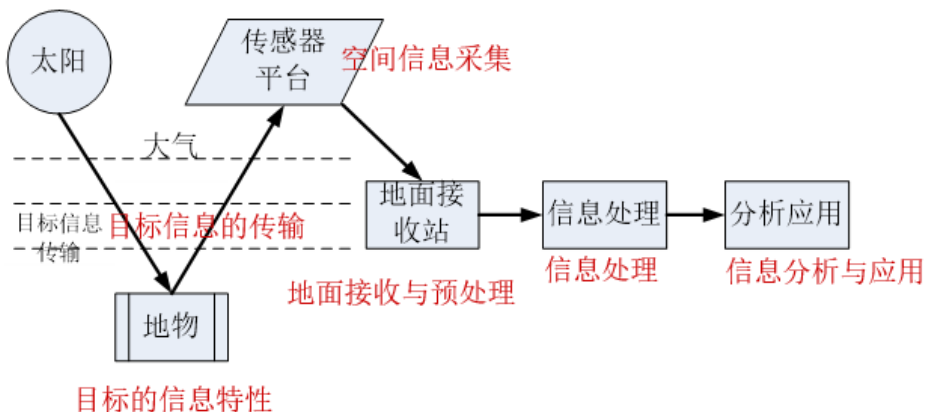
1. 按遥感平台分：地面遥感、航空遥感、航天遥感、宇航遥感；
2. 按传感器的探测波段范围分：紫外遥感、可见光遥感、红外遥感、微波遥感；
3. 按工作方式分：主动遥感【雷达】、被动遥感【可见光遥感】；
4. 按记录信息的表现形式分：成像遥感【获取的是一张图】、非成像遥感【获取的是离散信息】；
5. 按遥感的应用领域分：外层空间遥感、大气层遥感、陆地遥感、海洋遥感、资源遥感、农业遥感、林业遥感、地质遥感、城市遥感、军事遥感等等。

➤ 遥感的特点

1. 遥感的特点：①**真实性、客观性**②**探测范围大**③**时效性**④**数据的综合性和可比性**。
2. 遥感技术的三大需求：
 - 1) 人类及其生存的地球正面临严峻的挑战；
 - 2) 国防建设与国家安全的需要；
 - 3) 经济和社会可持续发展的需求；

➤ 遥感技术系统的组成

1. 遥感技术系统包括：①目标的信息特性；②目标信息的传输；③空间信息采集；④地面接收与预处理；⑤信息处理；⑥信息分析与应用



2. 遥感技术的发展：

1) 遥感平台的发展：

- A. 航天平台【超出大气层之外】、航空平台、地面平台；
- B. 卫星-航天飞机-国际空间站-小卫星群【短期观测向任意时相观测发展】。

2) 传感器的发展：向高时间分辨率、高空间分辨率、高光谱分辨率发展。

3) 遥感信息处理的发展：图像处理技术不断发展和完善，与相邻学科不断结合。

➤ 遥感在中国的发展

1. 在自主卫星研制方面：

- 1) 海洋系列卫星：海洋1号、海洋2号、海洋3号；
- 2) 气象系列卫星：风云1号、风云2号、风云3号；
- 3) 资源系列卫星：资源1号、资源2号、资源3号；
- 4) 环境卫星系列：环境1号A、B、C；
- 5) 高分系列卫星：高分1号、高分2号.....高分7号
 - A. GF-2：高空间分辨率；
 - B. GF-4：高时间分辨率；
 - C. GF-5：高光谱分辨率；
 - D. GF-3：时空协调、全天候对地观测系统（合成孔径雷达）；

2. 在遥感理论与应用方面

3. 在遥感卫星发射方面：

- 1) **酒泉卫星发射中心：**中国目前唯一的载人航天发射场，是中国最早建成的运载火箭发射试验基地，成功发射中国第一颗卫星——“东方红一号”，中国第一次导弹核武器试验也在这里试验成功。
- 2) **西昌卫星发射中心：**我国目前唯一发射地球同步卫星的航天基地。
- 3) **太原卫星发射中心**
- 4) **文昌卫星发射中心：**是中国陆地纬度最低、距离赤道最近的地区。火箭发射场距离赤道越近、纬度越低，发射卫星时就可以尽可能利用地球自转的离心力，因此所需要的能耗较低；坠落的残骸不易造成意外。

4. 在遥感教育方面

第二章·电磁波及遥感物理基础

➤ 电磁波谱与电磁辐射

1. **电磁波：**交互变化的电磁场在空间的传播。
2. **描述电磁波特性的指标：**波长、频率、振幅、位相等。
3. **遥感应用谱段波：**
 - 1) 紫外线的波长范围：0.01-0.38 μm
 - 2) 可见光的波长范围：0.38-0.76 μm
 - 3) 红外光的波长范围：0.76 μm -1mm
 - 4) 微波的波长范围：1mm-1m
4. **红外线的划分：**近红外、中红外、远红外、超远红外（15 μm -1mm，多被大气吸收，遥感传感器一般无法探测）。
5. **电磁波特性的遥感应用：**
 - 1) **电磁波的衍射：**光通过有限大小的障碍物时偏离直线路径的现象
A. 望远镜的最小分辨角： $\theta \approx 1.22 \frac{\lambda}{D} \rightarrow$ 对观测物 λ 不可选只能提高D。
 - 2) **电磁波的偏振：**电磁波电场强度的取向和幅值随时间而变化的性质，在光学中称为偏振。

- A. 如果这种变化具有确定的规律,就称电磁波为极化电磁波(简称极化波),分为水平极化和垂直极化两种方式
- B. 自然光是无偏的
- 3) 电磁波的叠加、相干与多普勒效应:
- A. 波的叠加:几列波在相遇的区域内,质点的振动为各波存在时单独引起的位移矢量和;
- B. 相干波:两列频率相同、振动方向一致、相位差恒定的波;
- C. 多普勒效应:由于波源和观察者之间有相对运动,使观察者感到频率发生变化的现象。
6. 物体的发射辐射:任何物体不停地向外辐射能量。地物发射的能力通常以发射率作为衡量标准;地物的发射率是以黑体辐射作为参照标准
7. 黑体:在任何温度下,对各种波长的电磁辐射的吸收系数等于1(100%)的物体。
8. 黑体辐射(Black Body Radiation):黑体的热辐射称为黑体辐射。
9. 基尔霍夫定律:在同样的温度下,各种不同物体对相同波长的单色辐射出射度与单色吸收比之比值都相等,并等于该温度下黑体对同一波长的单色辐射出射度 → 在给定的温度下,物体的发射率=吸收率(同一波段);吸收率越大,发射率也越大。
10. 普朗克热辐射定律:表示出了黑体辐射通量密度与温度的关系以及按波长分布的规律。
- 1) 黑体总辐射通量随温度的增加而迅速增加,它与温度的四次方成正比,不同温度的曲线不同: $W_0 = \sigma T^4$ (斯忒藩—玻尔兹曼定律);
- 2) 随着温度的升高,辐射最大值所对应的波长向短波方向移动(维恩位移定律:在一定温度下,绝对黑体的温度与辐射本领最大值相对应的波长 λ 的乘积为一常数,即 $\lambda T = b$);
- 3) 辐射通量密度随波长连续变化,每条曲线只有一个最大值(瑞利-金斯公式)。
11. 物体的发射率(比辐射率):地物的辐射出射度(单位面积上发出的辐射总通量) W 与同温下的黑体辐射出射度 $W_{\text{黑}}$ 的比值。
- 按照发射率与波长的关系,把地物分为:
- 1) 黑体或绝对黑体:发射率为1,是一个常数;
- 2) 灰体(grey body):发射率小于1,且是一个常数;

- 3) **选择性辐射体**: 反射率小于 1, 且随波长而变化
- 12. **发射光谱特性**: 地物的发射率随波长变化的规律。
- 13. **发射光谱曲线**: 按照发射率和波长之间的关系绘成的曲线。
- 14. **微波辐射的特点**:
 - 1) 任何物体在一定的温度下, 不仅向外发射红外辐射, 也发射微波辐射;
 - 2) 微波是地物低温状态下的重要辐射特性, 温度越低, 微波辐射越明显;
 - 3) 不同地物之间微波发射的差异比红外发射率要明显得多。
- 15. **亮度温度**: 指等物体的辐射功率等于某一黑体的辐射功率时, 该黑体的绝对温度即为亮度温度: $T_B = \varepsilon T$ 【一般波长会给定; 亮度温度总小于实地温度】
- 16. **等效温度**: 为了分析物体的辐射能力, 常用最接近灰体辐射曲线的黑体辐射曲线来表达, 这时黑体辐射温度称为该物体的等效辐射温度: $T_{等效} = \sqrt[4]{\varepsilon T}$ 【一般波长会发生变化; 等效温度总小于实地温度】

➤ 太阳辐射及大气对辐射的影响

- 1. **太阳辐射的特点**:
 - 1) 太阳辐射和黑体辐射基本一致; 太阳光谱相当于 6000 K 的黑体辐射;
 - 2) 太阳辐射的能量主要集中在可见光;
 - 3) 太阳辐射的光谱是连续的;
 - 4) x 射线、r 射线、远紫外和微波波段能力小, 且不稳定。
- 2. **大气层**: 对流层 (**航空遥感主要在此层**)、平流层、电离层、大气外层。
- 3. **大气层的吸收作用**: 综合吸收。
- 4. **大气层的散射作用**: 电磁波与物质相互作用后电磁波偏离原来的传播方向的一种现象
 - 1) 不同于吸收作用, 只改变传播方向, 不能转变为内能;
 - 2) 大气的散射是太阳辐射衰减的主要原因;
 - 3) 散射主要发生在可见光区;
 - 4) 对遥感图像来说, 降低了传感器接收数据的质量, 造成图像模糊不清
- 5. **散射的分类**:
 - 1) **均匀散射**: 当不均匀颗粒的直径 $a \gg \lambda$ 时, 发生均匀散射, 散射强度与波长无关。(大气粒子的直径比波长大得多时发生的散射, 散射强度不波长无关, 在符合

无选择散射的条件波段中，任何波长的散射强度相同。)

- 2) **米氏(Mie)散射**：如果介质中不均匀颗粒的直径 a 与入射波长同数量级，发生米氏散射；散射强度与波长的二次方成反比。(大气中的气溶胶颗粒，云滴，雨云滴等的直径不入射光的波长相似或大于入射光的波长时发生的散射→**云雾**)
- 3) **瑞利(Rayleigh) 散射**：介质中的不均匀颗粒的直径 a 远小于入射电磁波波长，散射强度与波长的四次方成反比。(空中较粗微粒比较少，青蓝色光散射显得更为突出，天空一片蔚蓝→**雨过天晴或秋高气爽、蓝天**)
6. **大气散射系数与高度的关系**：大气散射系数由**分子散射**和**气溶胶散射**两部分组成。**气溶胶颗粒密度随高度呈指数衰减**。就平均状况而言，**4km 以下的气溶胶米氏散射**占优势，**4km 以上的分子散射**占相对优势。
7. **折射现象**：电磁波传过大气层时出现传播方向的改变，大气密度越大，折射率越大。
8. **大气窗口**：电磁波通过大气层时较少被反射，吸收和散射的，**透射率较高的波段**称为大气窗口。【这是对地遥感要用的部分，是一个一维的概念】
9. **大气窗口的主要光谱波段**：**0.3~1.3 μm (紫外、可见光、近红外)**；**1.5~1.8 μm (近红外)**、**0.8~2.5cm (微波)** 等等【☆遥感一般不采用 14 μm 之后的红外线】
10. **光学厚度**：消光系数沿大气传输路径的积分，是表征大气介质对辐射衰减程度的无量纲量。
11. **大气的总光学厚度**：在某一垂直路径上，从大气顶层到地表的总衰减系数。

➤ 地球辐射与地物波谱

1. **地球辐射**：地球表面和大气电磁辐射的总称。

【地球辐射是**被动遥感**中传递地物信息的**载体**】

2. **地球辐射的分段特性**：

☆太阳辐射**近似 6000K** 的黑体辐射，能量集中在 **0.3~2.5 μm** 波段之间；

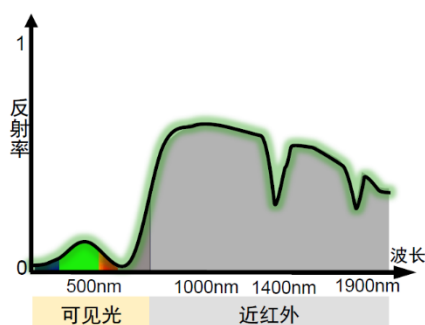
☆地球自身热辐射**近似 300K** 的黑体辐射，能量集中在 **6.0 μm** 以上的波段。

- 1) **在 0.3~2.5 μm 波段** (主要在可见光和近红外波段)，地表以反射太阳辐射为主，地球自身的辐射可以忽略；
- 2) **在 2.5~6.0 μm 波段** (主要在中红外波段)，地表反射太阳辐射和地球自身的热辐射均为被动遥感的辐射源；

- 3) 在 6.0um 以上的热红外波段，以地球自身的热辐射为主，地表反射太阳辐射可以忽略。(热红外成像)。
3. **地物波谱**：地物的电磁波响应特性随电磁波长改变而变化的规律，称为地表物体波谱，简称地物波谱。
- ☆不同类型的**地物**，其**电磁波响应的特性不同**，因此**地物波谱特征是遥感识别地物的基础**
4. **地物波谱特性**：地物波谱随波长变化而变化的特性，是电磁辐射与地物相互作用的一种表现。
5. **不同电磁波段中地物波谱特性**：
- 1) 可见光和近红外波段：主要表现地物反射作用和地物的吸收作用；
 - 2) 热红外波段：主要表现地物热辐射作用；
 - 3) 微波波段：主动遥感利用地物后向散射。【被动遥感利用地物微波辐射】
6. **反射率 (ρ)**：地物的反射能量与入射总能量的比，即 $\rho = (P_r / P_0) \times 100\%$
- ☆**表征物体对电磁波谱的反射能力**
7. **地物的反射类型**：镜面反射、漫反射、实际物体的反射
- 1) **镜面反射**：发生在光滑物体表面的一种反射。物体的反射满足反射定律，反射波和入射波在同一平面内，入射角等于反射角；
 - 2) **漫反射**：发生在非常粗糙的表面上的一种反射现象。不论入射方向如何，其反射出来的能量在各个方向是一致的；
☆入射辐照度 I 一定时，从任何角度观察反射面，其反射辐照亮度是一个常数，这种反射面又叫朗伯面。
 - 3) **方向反射**：介于镜面和朗伯面（漫反射）之间的一种反射。自然界种绝大多数地物的反射都属于这种类型的反射，又叫非朗伯面反射。
☆对太阳短波辐射的反射具有各向异性，即实际物体面在有入射波时各个方向都有反射能量，但大小不同
8. **地物反射波谱**：是研究可见光至近红外波段上地物反射率随波长的变化规律。
- ☆一般采用二维几何空间内的曲线表示，横坐标表示波长，纵坐标表示反射率



9. 植物的反射光谱特征:



1) 基本特征:

- A. 可见光波段 ($0.4 \sim 0.76 \mu\text{m}$) 有一个小的反射峰, 两侧有两个吸收带。这是因为叶绿素对蓝光和红光吸收作用强, 而对绿光吸收作用相对较弱。
- B. 近红外波段 ($0.7 \sim 0.8 \mu\text{m}$) 有一反射“陡坡”(红边), 至 $1.1 \mu\text{m}$ 附近有一峰值, 形成植被的独有特征。
- C. 在中红外波段 ($1.3 \sim 2.5 \mu\text{m}$) 受到绿色植物含水量的影响, 吸收率大增, 反射率下降, 但是在水的吸收带形成低谷 ($1.4 \& 1.9 \mu\text{m}$)。

2) 影响因素: 不同季节、不同生长期、不同树种、不同湿度。

10. 水体反射光谱特征:

1) 基本特征:

水体的反射主要在蓝绿光波段, 其他波段吸收都很强, 特别到了近红外波段, 吸收就更强, 所以水体在遥感影像上常呈黑色

☆在可见光波段, 水体的反射率不超过 10%

☆在红外波段, 水体反射率几乎为零

2) 波谱特点:

A. 与水体类型有密切关系:

a) 内陆水体: 河流水体、湖泊水体

☆水色遥感: 利用光学遥感技术探测水体中的叶绿素、黄色物质、泥沙悬浮物等

b) 海洋水体: 大洋水 (一类水体)、近岸水 (二类水体)

☆大洋水中对光场影响的物质主要是以藻类形式存在的叶绿素;

☆近岸水则由于河口排放和潮汐作用, 增加了泥沙和黄色物质等变量。

B. 与水体所含成份有密切关系:

- a) **悬浮泥沙**所引起的混浊度是影响水体光谱响应的主要因素之一。浊水反射率比清水高很多，**峰值出现在黄红区**。

☆在 **0.6-0.7 微米波段内**，反射率几乎与水体的混浊度线性相关

- b) **叶绿素浓度**增加时，**蓝光**反射率显著下降，**绿光**反射率显著上升。

- c) 天然及人造物质对水体的光谱特征也有影响

☆不过，**某些物质对水体的光谱特征几乎没有影响**，例如，将气体或无机盐溶于蒸馏水，光谱特征没有任何变化；PH 值介于 3 到 7 之间的水的光谱特征与酸度没有关系

C. **不同形态的水具有不同的光谱特征：雪的反射率明显高于水体**

反射率依次降低：新降未融化的雪→表面融化的雪→湿的融化的雪→冻结的雪→水

11. **岩石矿物的光谱曲线**：对各波段的反射率变化不是很大，故颜色不突出

- 1) 岩石的反射波谱主要由**矿物成分**、**矿物含量**、**物质结构**等决定；
- 2) 影响岩石矿物波谱曲线的因素包括岩石风化程度、岩石含水状况、矿物颗粒大小、岩石表面光滑程度、岩石色泽等。

12. **土壤的波谱特征**：

- 1) **自然状态下**：土壤表面的反射曲线呈现**比较平滑的特征**，没有明显的反射峰和吸收谷；
- 2) **干燥条件下**：土壤的波谱特征主要与成土矿物和土壤有机质有关；
- 3) **土壤含水量增加**，**土壤的反射率就会下降**，在水的各个吸收带（1.4um、1.9um、2.7um 处附近区间），反射率的下降尤为明显。

13. **时间效应与空间效应**：

- 1) **时间效应**：地物的光谱特性一般随时间季节变化，称为时间效应；
- 2) **空间效应**：处在不同地理区域的同种地物具有不同的光谱响应，称为空间效应；

14. **影响地物波谱特征的因素**：①太阳位置；②传感器位置；③不同的地理位置；④地物本身的变化。

➤ 地物波谱测量

1. **可见光和近红外地物光谱测量的作用**：

- 1) 传感器波段的选择、验证、评价;
- 2) 建立地面、航空和航天遥感数据的定量关系;
- 3) 地物光谱数据与地物特征的相关分析。

第三章 · 遥感平台及运行特点

➤ 遥感平台的种类

1. 遥感平台的分类：地面平台、航空平台、航天平台。

- 1) 地面平台：高度<300m→波谱测试、细节图像、定量遥感等;
- 2) 航空平台：高度：100-30000m→飞机、飞艇、气球等;
- 3) 航天平台：超出大气的地球附近空间或太阳系内→卫星、航天飞机等。

➤ 卫星轨道参数及轨道特点

1. 开普勒三大定律：

- 1) 椭圆定律：每一个星星都沿着各自的椭圆轨道环绕太阳，太阳处在椭圆的一个焦点上。
- 2) 面积定律：在相等时间内，太阳和运行着的行星的连线扫过的面积都是相等的。
- 3) 调和定律：各个行星绕太阳公转周期的平方和它们的椭圆轨道的长半轴的立方成正比。

$$\frac{T^2}{a^3} = k$$

2. 天文参照点：

- 1) 春分点：黄道面与赤道面在天球上的交点
- 2) 升交点：卫星由南向北运行时与赤道面的交点
- 3) 降交点：卫星由北向南运行时与赤道面的交点
- 4) 近地点：卫星轨道离地球最近的点
- 5) 远地点：卫星轨道离地球最远的点

3. 卫星轨道参数：

- 1) 轨道长半轴 **a**：卫星轨道长轴的一半： a ;
- 2) 轨道偏心率 **e**：卫星轨道焦距与长轴之比： $e = \frac{c}{a}$;

3) 轨道倾角 i : 卫星轨道平面与地球赤道平面的夹角;

☆轨道倾角确定, 卫星的轨道面和地球的赤道面这两个平面的相对关系不是固定的, 因为卫星的轨道面还可以旋转

4) 升交点赤经 Ω : 卫星升交点与春分点的角距;

5) 近地点角距 ω : 升交点沿卫星轨道到近地点的角距;

6) 过近地点时刻 t 或真近点角 v : 近地点到卫星真实位置的角度。

☆12 确定轨道的形状和大小, 34 确定卫星轨道面和赤道面的相对关系, 5 确定卫星轨道与轨道面的相对关系, 6 确定卫星在轨道上的位置

4. 常用卫星轨道参数用语:

1) 轨道周期 T : 卫星在轨道上绕地球一周所需的时间。【量纲为 min】

2) 重访周期: 卫星从某点开始, 经过一段时间飞行之后又回到该点用的时间。

☆地球也在自传, 所以该点已经不是原来的点

☆重复周期与重访周期、覆盖周期在遥感领域基本是一个意思不用辨析。

3) 赤道轨道: 轨道平面与赤道平面重合, 轨道倾角为 0° 。

4) 地球静止轨道: 轨道平面与赤道平面重合, 轨道倾角为 0° , 且卫星运行方向与地球自转方向一致, 运行周期相等。

5) 倾斜轨道:

A. 顺行轨道: 卫星运行方向与地球自转方向一致, 轨道倾角为: $0^\circ < i < 90^\circ$

可覆盖最高的南北纬度为 i

B. 逆行轨道: 卫星运行方向与地球自转方向相反, 轨道倾角为: $90^\circ < i < 180^\circ$

可覆盖最高南北纬度为 $180^\circ - i$

6) 星下点: 卫星质心与地心连线同地球表面的交点。

7) 星下点轨迹(地面轨迹): 星下点在卫星运行过程中在地面的轨迹。

8) 卫星速度、星下点速度、卫星平均高度:

根据开普勒第三定律: $\frac{T^2}{a^3} = k, k = \frac{GM}{4\pi^2}$

卫星平均高度: $H = \sqrt[3]{\frac{T^2}{k}} - R$

卫星速度: $V = \sqrt{\frac{GM}{R+H}}$

星下点速度: $V_N = \frac{R}{R+H}V$ 【星下点速度小于卫星速度】

9) 同一天相邻轨道间在赤道的距离: $L = 2\pi R_a \frac{T}{24 \times 60}$

10) 每天卫星绕地球的圈数: $n = \frac{24 \times 60}{T}$

5. 对于地球资源和环境遥感的航天平台要做到:

- ① 对全球表面进行周期性成像覆盖;
- ② 最大范围地获得地球表面信息;
- ③ 保证在卫星通过北半球中纬度地区有最佳光照条件;
- ④ 同一地点不同日期的成像地方时间、太阳光照角基本一致。

6. (遥感) 卫星轨道特点:

1) 近极地→目的: 获取大范围影像

☆卫星轨道平面与地球赤道平面的夹角接近 90° 的轨道, 轨道倾角越接近 90° , 覆盖地球表面范围越大。

2) 近圆形→目的: ①获取图像有相近的比例尺成像扫描仪; ②具有固定的扫描频率

3) 与太阳同步: 指卫星轨道平面与地心和太阳的连线之间的夹角(太阳光照角, 线面角)始终保持一致。→①可使卫星通过同一纬度的平均地方时不变; ②有利于在最佳光照条件下获取高质量影像和多时相影像色调对比。

4) 可重复观测: 地球资源卫星的按一定的周期运行, 一个重复周期对地球扫描一次; 然后, 接着进行下一个重复周期, 实现可重复观测。

➤ 卫星坐标、姿态的测量与结算

1. 星历表法解算卫星坐标: 根据六个轨道参数和卫星在该瞬间的精确时间 t 如何解算出卫星的地理坐标。

根据六参数→解算卫星在地心直角坐标系中的坐标→解算卫星在大地地心直角坐标系中的坐标→解算卫星的地理坐标

2. 利用全球定位系统测定卫星坐标

3. 卫星姿态角: 滚动、俯仰和航偏。

测量的方法: ①红外姿态测量仪; ②恒星相机测定法; ③3个GPS方法

➤ 几种主要的地球资源遥感卫星及其运行特征



1. LANDSAT 系列:

- 1) 轨道高度: $H=915\text{km}$
- 2) 轨道周期: $T=103.267\text{min}$
- 3) 飞行速度: $V=7.399\text{km/s}$
- 4) 每天绕地球圈数 n : $n=13.944(\text{圈})$

☆第一天第 14 圈还剩 0.056 圈没飞完 → 第二天第 1 圈起始位置向西偏移

$0.056 \times 2862\text{km} = 159\text{km} \rightarrow 1 \div 0.056 = 18\text{天可以实现重访}$

- 5) 同一天相邻轨道在赤道的距离 L : $L=2862\text{km}$

2. SPOT 卫星系列

3. EOS 计划

4. 小卫星系列

5. 海洋测绘观测计划

6. SAR 卫星系列

7. 印度系列卫星

8. 中国系列卫星

第四章 · 遥感传感器及其成像原理

➤ 传感器的组成

1. 传感器的结构包括: 收集系统、探测系统、信号转换系统、记录系统。

2. 描述遥感的参数指标:

- 1) 空间分辨率: 指遥感影像上能分辨的地物间的最小距离
- 2) 光谱分辨率: 指遥感器在接收目标辐射的波谱时, 能分辨的最小波长间隔, 即遥感的工作波段数目、波长及波长间隔(波带宽度)。【半峰值波长宽度】

◇ 光谱分辨率高--意味着:

☆区分具有微小波谱特征差异地物的能力强;

☆数据量大, 传输、处理难度大;

☆各波段间数据的相关性大。

◇ 应服从应用目的--结合地物特征波谱, 选择能提供最大信息量的最佳波段和

多波段组合。

3) **辐射分辨率**：指遥感器探测元件在接收波谱辐射信号时，能分辨的最小辐射度差

✧ **辐射分辨率高--识别两同等空间分辨率目标的能力强**

4) **时间分辨率**：分析、识别目标所必须具有的最小时间间隔

✧ 与同一目标遥感器重复成像的周期、覆盖周期、重访周期相区别，时间分辨率可以由**多个传感器**共同完成。

3. 同一种传感器，光谱和空间分辨率、辐射分辨率不能同时增加，是相互制约的关系

➤ 遥感传感器类型

1. 按信息记录形式分：

① 非成像遥感器--侧重时间、光谱分辨率

② 成像遥感器-- 空间分辨率

2. 成像类遥感器：胶片摄影方式遥感器与扫描方式遥感器

1) **胶片摄影方式遥感器**：指经过透镜(组)，按几何光学的原理聚焦构像，用感光材料，通过光化学反应直接感测和记录目标物反射的可见光和摄影红外波段电磁辐射能，在胶片或像纸上形成目标物固化影像的遥感器。

✧ 优点：**空间分辨率高**、成本低、易操作、信息量大。

✧ 缺点：影像畸变较严重；成像受气候、光照和大气效应的限制；**须回收胶片，影像形成周期长**。

2) **扫描方式遥感器**：可对全部五个大气窗口的电磁辐射进行探测可进行多波段、超多波段遥感--波谱分辨率高输出电信号，可用磁带记录，可实时传输所获是辐射量的定量数据,便于校正和图像处理。【**不胶片相比空间分辨率较低**】

✧ **瞬时视场 (IFOV, Instantaneous field of view)**：形成多个像元的视场，**瞬时视场越小，空间分辨率越高**。

➤ 典型传感器成像原理

1. **红外扫描仪：摆动扫描**

1) 组成：光学--机械扫描 + 热红外探测

- 2) 扫描线的衔接: $v = s/t$ t : 扫描一次的时间 s : 平台前进的距离

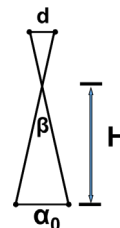
$s = \alpha$ 星下点分辨率时, 不会出现扫描空隙和重复。

- 3) 空间分辨率: 瞬间视场角 $\beta = d/f$

✧ 星下点的空间分辨率 $\alpha_0 = \beta H = dH/f$

✧ 平行航线方向: $\alpha\theta = \beta H\theta = \beta H \sec\theta = \alpha_0 \sec\theta > \alpha_0$

✧ 垂直航线方向: $\alpha\theta' = \alpha\theta \sec\theta = \alpha_0 \sec^2\theta$



2. MSS 多光谱扫描仪: 摆动扫描

- 1) 基本构成:

- A. 扫描反射镜: 配合卫星向前飞行获取地面二维图像;
- B. 反射镜组: 将扫描镜反射进入的地面景物聚焦在成像板上;
- C. 成像板;
- D. 探测器: 辐射能转化为电信号

- 2) 扫描过程: 从左至右(西向东), 垂直飞行方向逐点扫描, 得到一条相应于地面的图像线, 卫星向前运动, 第二次扫描得到第二条扫描线。

✧ 如何保证多次扫描无缝衔接: 周期=73.42ms; 卫星速度=6.5km/s; 扫描一次的时间内卫星往前移动 $73.42\text{ms} \times 6.5\text{km/s} = 474\text{m}$ 正好衔接。

- 3) 卫星在扫描的同时, 地球同时自西向东自转, 下一次扫描所观测的地面景物与上一次存在偏移量。偏移的大小 $\Delta Y = V_E T$, V_E 为地面自转线速度。

- 4) MSS 的空间分辨率:

飞行方向: $86\mu\text{rad} * 915\text{KM} = 79\text{m}$;

垂直飞行方向: $185\text{km} / (33\text{ms} / 9.958\mu\text{s}) = 56\text{m}$

- 5) 波谱特征: Landsat1-3 有五个波段 MSS4(绿)、MSS5(红)、MSS6(红外)、MSS7(红外) MSS8(热红外)。

3. TM(专题制图仪)(Thematic Mapper): 摆动扫描

✧ 结构与 MSS 相似, 性能上主要有以下特点: ①更高的空间分辨率; ②更多的波段; ③更好的几何保真度; ④更高的辐射分辨率

- 1) 探测器: 探测器共有 100 个, 分七个波段呈错开排列。

- 2) 半个扫描周期, 即单向扫描所用的时间为 71.46ms, 卫星正好飞过地面 480m, 下半个扫描周期获取的 16 条图像线正好不上半个扫描周期的图像线衔接。

- 3) TM 的特点:
- A. TM 中增加一个扫描改正器,使扫描行垂直于飞行轨道(MSS 扫描不垂直于飞行轨道);
 - B. 往返双向都对地面扫描 (MSS 仅单向扫描);
 - C. 地面分辨率由 79 米到 30 米;
 - D. 波段由 5 个增加到 7 个;
 - E. 有热红外通道 TM6
- 4) 增强型专题绘图仪 (ETM, Enhanced Thematic Mapper):
- A. 增加了全色波段, 分辨率为 15 米;
 - B. 采用双增益技术使热红外波段的分辨率提高到 60 米;
 - C. 改进后太阳定标器使卫星的辐射定标误差小于 5%。

4. SPOT 卫星 HRV 成像: 线阵列推扫

◇ HRV: High Resolution Visible Sensor --高分辨率可见光遥感器

- 1) CCD 光敏元的排列方向与平台的飞行方向垂直, 由线列 CCD 自身完成一维扫描, 靠平台运动完成另一维扫描, 形成二维影像。
- 2) 地面分辨率取决于 CCD 元的大小, 线列 CCD 光敏元的数目等于行扫方向上的像元数。【HRV 多波段 3000 个; 全色波段 6000 个】各光敏元同时曝光, 每个光敏元积累的与目标物辐射强度成正比的电荷量通过耦合方式转输输出。

☆全色 HRV 每个像元地面的大小为 10m×10m; 多光谱型 HRV 为 20m×20m

- 3) 传感器特点:
- A. 一改光机扫描的逐点扫描为逐行扫描、逐面扫描--革除了机械部件, 简化了结构, 避免了因振动引起的噪声;
 - B. 光敏元同时曝光--延长了信号驻留时间, 提高了遥感器的灵敏度;
 - C. 波谱响应范围宽--硅光敏元可探测 0.4~1.1 μm ;
 - D. 无畸变、体积小、功耗低、寿命长可靠性强
- 4) 在轨观测方式:
- A. SPOT 卫星平台上安装了两台 HRV 仪器, 每台视场都为 60KM, 两者之间有 3KM 的重叠, 总视场为 117KM。
 - B. 相邻轨道间在赤道处约为 108KM, 垂直地面观测时, 相邻轨道的影像约有

9KM 的重叠。

C. 共观测 369 圈 (26 天) 实现对全球北纬 81.3 度和南纬 81.3 度之间的地表全覆盖。

D. 反射镜左右倾斜最大为 27 度, 有立体观测能力

5. 高光谱传感器: 成像形式: 空间成像+光谱成像
6. 三种分辨率、稳定性方面线阵推扫优于摆动扫描; 幅宽方面摆动扫描优于线阵推扫。
7. 成像雷达: 主要指工作在微波波段 (0.8~100cm) 有源主动、天线侧向扫描、能产生高分辨率影像的雷达。

(真实孔径侧视雷达: RA-SLR --Real Aperture Side-looking Radar)

【波长与雷达天线设计密切相关。一般来讲, 发射波长越长则要求天线越长。所以星载的雷达常用 C 或 L, P 波段多用于机载雷达】

用雷达一点一点地测量来自地球的回波信号, 并以模拟形式记录成图像或以数字形式记录在磁带上。它必须相对于地面 (探测目标) 运动, 即必须搭载在飞机、卫星或航天飞机上。

后向散射回波: 装在平台一侧或两侧的水平孔径天线, 将发射机产生的高功率微波短脉冲, 侧向发射出去, 以窄的扇形波束扫过地面一条窄带。微波遇目标后发生反射和散射, 其中沿发射方向返回的部分称后向散射回波。

斜距 (R): 天线至目标的径向距离

地面距离 (Rg): 从航迹(地面轨迹)到目标的水平距离

为什么要采取侧视: 为了形成地面目标距离上的差异。

每发射一个脉冲形成一条影像线, 而与平台运行速度同步移动的胶片完成航向地面覆盖, 形成连续条带状雷达影像。

地面分辨率: 同时出现在影像上两个能够区分的目标间的最小距离

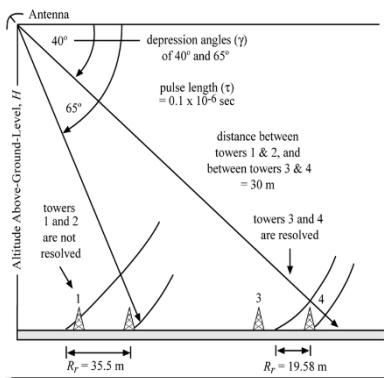
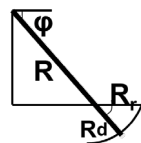
方位向 (Ra)--航向方向 距离向 (Rr)--垂直航向方向 【二者是垂直的】



距离分辨力：在脉冲发射的方向上，能分辨两个目标的最小距离。

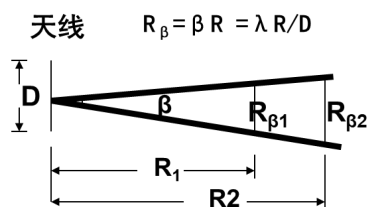
1) 斜距分辨率 $R_d = (\tau c)/2$ ☆ τ ：脉冲持续的时间 c ：光速

2) 地距分辨率 $R_r = (\tau c \sec \varphi)/2$ ☆ 越远的地物越能分清



方位分辨力：相邻的两束脉冲之间，能分辨两个目标的最小距离。

☆ 越近的地物越能分清



8. 合成孔径雷达 (SAR Synthetic Aperture Radar,

SAR)：模拟线性天线阵，应用多普勒效应和数据处理技术，用一个小天线合成一个大天线使方位分辨率提高几十至几百倍。

合成孔径雷达的分辨力：

方位向： $R_s = \lambda R / L_s$ ； $L_s = R \beta = \lambda R / D \rightarrow R_s = D$

☆ 方位分辨力只与实际使用的天线孔径有关，通过合成孔径提高分辨率

距离向与脉冲有关（压缩脉冲提高分辨率）

9. 侧视雷达图像的几何特征（与距离向息息相关）：

1) 距离向的比例尺从近及远由小变大，越远影像比例尺越大；

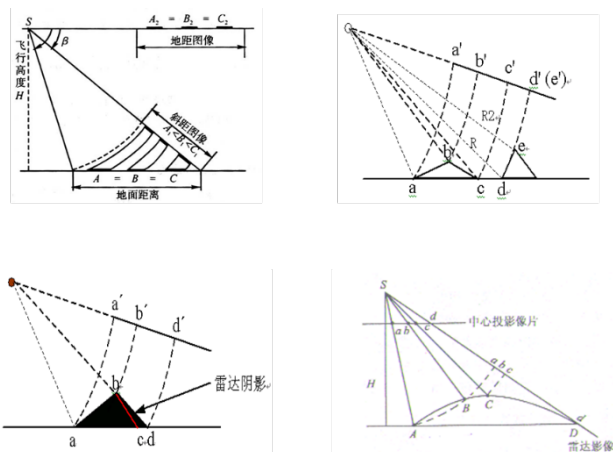
2) 近距离压缩且亮一些，远距离扩大且暗一些；

3) 透视收缩和叠掩；

4) 雷达影像阴影——用于判别雷达扫描方向



5) 造成山体前倾



☆2/3/4/5 示意图

10. 侧视雷达图像的色调特征:

1) 与入射角有关:

- A. 朝向飞机方向的坡面---反射强烈---很亮
- B. 朝天顶方向---弱些---较亮
- C. 背向飞机方向---反射很弱(没回波)---很暗

2) 与地面粗糙程度有关

- A. 地面地物微小起伏小于雷达波波长---镜面漫反射---很暗
- B. 地面微小起伏大于或等于发射波长---漫反射---较亮
- C. “角隅反射” ---反射波强度更大---很亮

3) 与地物的电特性有关: 物体复介电常数高 ---反射雷达波强---亮

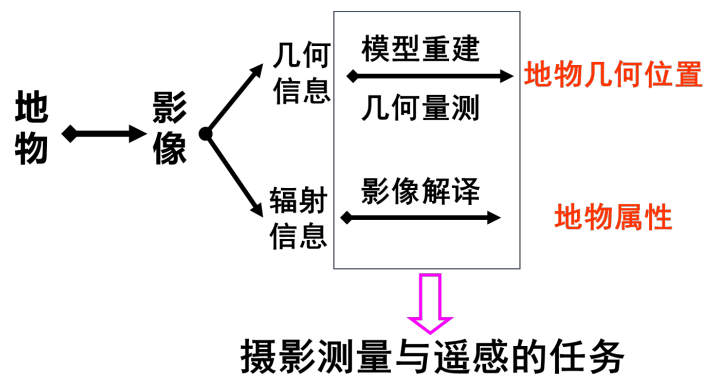
11. **相干雷达 (INSAR):** 利用 SAR 在平行轨道上对同一地区获取**两幅 (或以上) 的单视复数影像来形成干涉**, 进而得到该地区的三维地表信息。**【该方法充分利用了雷达回波信号所携带的相位信息, 获得同一区域的重复观测数据, 形成干涉, 得到相应的相位差, 结合观测平台的轨道参数等提取高程信息】**

12. **激光雷达 (LIDAR):** 已知空间点 O_s 的坐标 (X_s, Y_s, Z_s) 及该点到地面点

$P(X, Y, Z)$ 的距离, 则 P 点的坐标很容易得到, 直接获取三维点云。

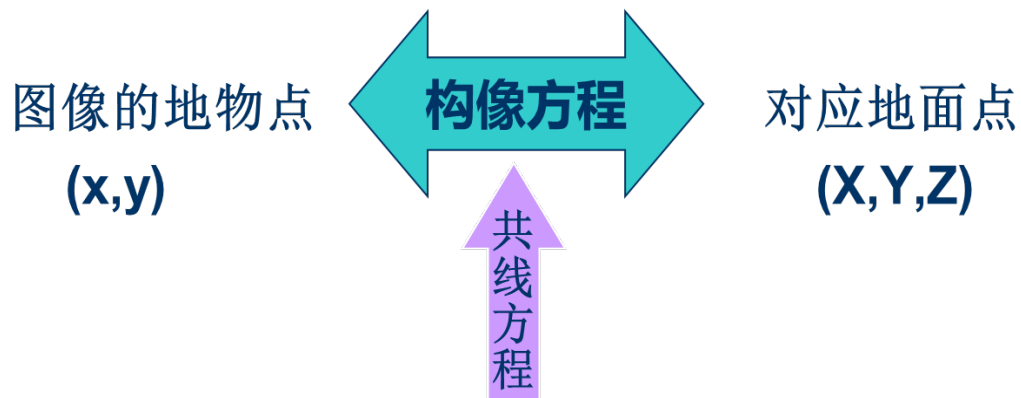
【测量三维坐标, 激光距离 + 方向测角】

第五章 · 遥感图像的几何处理

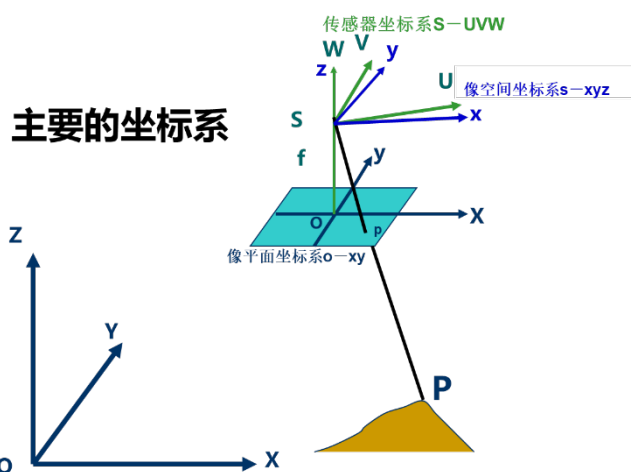


➤ 遥感传感器的构像方程

1. 遥感传感器的**构像方程**是对任何类型传感器成像进行几何纠正的基础。



2. 几种主要的坐标系:



3. 中心投影构像方程:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_p = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_s + \lambda A_t \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix}$$

传感器投影中心和地物点之间关系的共线方程：

$$x = -f \frac{a_{11}(Xp - Xs) + a_{21}(Yp - Ys) + a_{31}(Zp - Zs)}{a_{13}(Xp - Xs) + a_{23}(Yp - Ys) + a_{33}(Zp - Zs)}$$

$$y = -f \frac{a_{12}(Xp - Xs) + a_{22}(Yp - Ys) + a_{32}(Zp - Zs)}{a_{13}(Xp - Xs) + a_{23}(Yp - Ys) + a_{33}(Zp - Zs)}$$

可以简写为：

$$x = -f \frac{(X)}{(Z)} ; y = -f \frac{(Y)}{(Z)}$$

4. 全景摄影机的构像方程：

全景摄影机：缝平行于飞行方向，像片面位于焦面上，缝所处胶片曝光。

每条缝隙图像成像的像点坐标为(x , 0 , $-f$)

构像方程为：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_p = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{st} + \lambda A_t R_\theta \begin{bmatrix} x \\ 0 \\ -f \end{bmatrix}$$

其中 R_θ 为旋转矩阵： $R_\theta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$ (绕x轴旋转，绕着谁旋转谁就是100)

5. 缝隙式摄影机的构像方程：

缝垂直于飞行方向，缝在S正上(下)方（没有旋转角）

每条缝隙图像成像的像点坐标为(0 , y , $-f$)

构像方程为：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_p = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{st} + \lambda A_t \begin{bmatrix} 0 \\ y \\ -f \end{bmatrix}$$

共线方程为：

$$(x) = 0 = -f \frac{(X)}{(Z)} ; (y) = y = -f \frac{(Y)}{(Z)}$$

6. 推扫式传感器的构像方程：

线阵列推扫式成像与缝隙式摄影机成像类似,不同的是在扫描时为获取立体像对,投影器可前、后、左、右倾 θ 角。



构像方程为：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_P = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_S + \lambda A_t R_\theta \begin{bmatrix} 0 \\ y \\ -f \end{bmatrix}$$

当推扫式传感器沿旁向倾斜固定角 θ 时【观测相邻轨道】： $R_\theta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$

共线方程为：

$$(x) = 0 = -f \frac{(X)}{(Z)} ; (y) = f \frac{y \cos\theta + f \sin\theta}{f \cos\theta - y \sin\theta} = -f \frac{(Y)}{(Z)}$$

当推扫式传感器作前后视成像，视角为 θ 时： $R_\theta = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix}$

共线方程为：

$$(x) = f \tan\theta = -f \frac{(X)}{(Z)} ; (y) = y / \cos\theta = -f \frac{(Y)}{(Z)}$$

7. 点扫描式传感器的构像方程（红外扫描仪）：

扫描式传感器获得的图像属于多中心投影，每个像元都有自己的投影中心，扫描瞬间

点成像($x=0, y=0$)，成像面位于焦面上 ($0,0,-f$)。

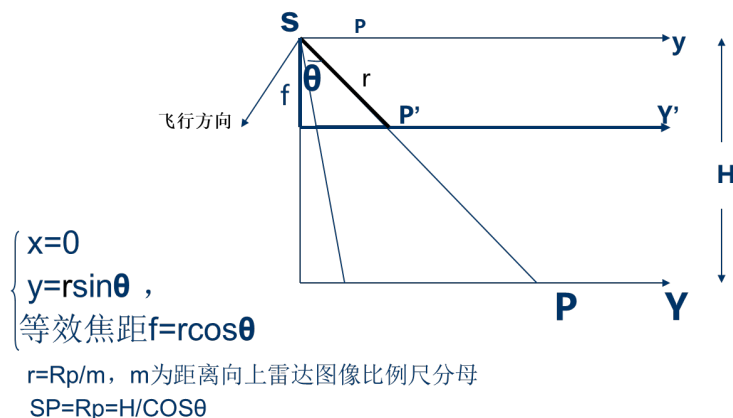
构像方程为：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_P = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_S + \lambda A_t R_\theta \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -f \end{bmatrix} ; R_\theta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

共线方程为：

$$(x) = 0 = -f \frac{(X)}{(Z)} ; (y) = f * \tan\theta = -f \frac{(Y)}{(Z)}$$

8. 侧视雷达图像的构像方程：【侧视雷达具有斜距投影的性质】



构像方程为：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_p = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_s + \lambda A_t \begin{bmatrix} 0 \\ r \sin \theta \\ -r \cos \theta \end{bmatrix}$$

共线方程为：

$$0 = -f \frac{(Y)}{(Z)} \quad ; \quad r * \sin \theta = -f \frac{(Y)}{(Z)}$$

9. 基于多项式的传感器模型：回避成像的空间几何过程，用一个适当的多项式来描述纠正前后图像相应点之间的坐标关系【简单、近似】。

常见的多项式模型：

$$x = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} X^i Y^j \quad ; \quad y = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n b_{ij} X^i Y^j$$

若增加与地形起伏有关的 Z 坐标：

$$x = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p a_{ijk} X^i Y^j Z^k \quad ; \quad y = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^p b_{ijk} X^i Y^j Z^k$$

10. 基于有理函数的传感器模型：有理函数模型（Rational Function Model，RFM）是

Space Imaging 公司提供的一种广义的新型传感器成像模型，能够获得与严格成像模型近似一致精度的、形式简单的概括模型。

RFM 将地面点大地坐标与其对应的像点坐标用比值多项式关联起来

$$Y = \frac{Num_L(P, L, H)}{Den_L(P, L, H)} \quad ; \quad X = \frac{Num_S(P, L, H)}{Den_S(P, L, H)}$$

(P, L, H)为正则化的地面坐标，(X, Y)为正则化的影像坐标，表达式为：

$$P = \frac{Latitude - LAT_OFF}{LAT_SCALE}$$

$$L = \frac{Longitude - LONG_OFF}{LONG_SCALE}$$

$$H = \frac{Height - HEIGHT_OFF}{HEIGHT_SCALE}$$

➤ 遥感图像的几何变形

1. 遥感图像的几何变形：是指图像上像元在图像坐标系中的坐标与其在地图坐标系等参考坐标系中的对应坐标之间的差异。
2. 传感器成像方式引起的图像变形：
 - 1) 全景投影变形

点 P 在全景面上的像点为 p'，则 p' 在扫描线方向上的坐标 y'_p

全景变形公式: $dy = y'p - yp = f * (\theta / \rho - tg\theta)$

2) 斜距投影变形

斜距投影图形上的影像坐标 y_p 为: $y''p = \lambda RP = \lambda H / \cos\theta = f / \cos\theta = f \sec\theta$

而地面上 P 点在等效中心投影图像 oy 上的像点 p 的坐标 y_p : $y_p = f \cdot tg\theta$

斜距投影的变形误差: $dy = y''p - yp = f \cdot (\sec\theta - tg\theta)$

3. 传感器外方位元素变化的影响:

外方位元素, 是指传感器成像时的位置(X_s, Y_s, Z_s)和姿态角(φ, ω, κ),

竖直摄影条件下 $\varphi = \omega = \kappa \approx 0$

$$A_t = \begin{bmatrix} 1 & -\kappa & -\varphi \\ \kappa & 1 & -\omega \\ \varphi & \omega & 1 \end{bmatrix}$$

外方位元素变化所产生的像点位移为:

$$\begin{cases} dx = -(f/H)dX_s - (x/H)dZ_s - [f(1 + x^2/f^2)]d\varphi - (xy/f)d\omega + yd\kappa \\ dy = -(f/H)dY_s - (y/H)dZ_s - (xy/f)d\varphi - [f(1 + y^2/f^2)]d\omega - xd\kappa \end{cases}$$

dX_s 、 dY_s 、 dZ_s 和 $d\kappa$ 对整幅图像的综合影响是使其产生平移、缩放和旋转等线性变

化; 只有 $d\varphi$ 、 $d\omega$ 才使图像产生非线性变形

4. 地形起伏引起的像点位移:

1) 中心投影情形时:

在垂直摄影的条件下, $\varphi = \omega = \kappa \approx 0$,

地形起伏引起的像点位移为: $\delta h = rh/H$:

$$\delta xh = xh/H; \quad \delta yh = yh/H$$

其中 x 、 y 为地面点对应的像点坐标,

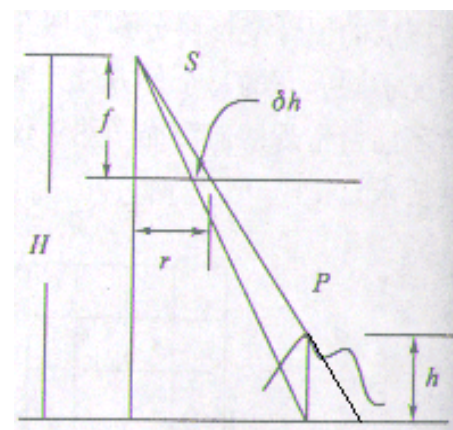
δx 、 δy 为由地形起伏引起的在 x 、 y 方向上的像点位移

2) 推扫式成像情形时:

由于 $x=0$, $\delta xh = xh/H = 0$

而在 y 上方有: $\delta yh = \frac{yh}{H}$

即投影差只发生在 y 方向 (扫描方向)



3) 逐点扫描仪成像情形:

$$\delta xh' = xh/H = 0$$

$$\delta yh' = \delta yh \cos 2\theta = yh \cos 2\theta / H = f \tan \theta \cos 2\theta h / H = f \sin \theta \cos \theta h / H$$

5. 地球曲率引起的图像变形:

6. 大气折射引起的图像变形: 大气层不是一个均匀的介质, 使得电磁波的传播路径不是一条直线而变成了曲线, 从而引起像点的位移。

7. 地球自转的影响: 当卫星由北向南运行的同时, 地球表面也在由西向东自转。由于卫星图像每条扫描线的成像时间不同, 因而造成扫描线在地面上的投影依次向西平移, 最终使得图像发生扭曲。

➤ 遥感图像的几何校正

1. 遥感图像的几何处理的两个层次: 遥感图像的粗加工处理、遥感图像的精加工处理

2. 遥感图像的粗加工处理也称为粗纠正, 它仅做系统误差改正

粗加工处理包括: 辐射处理、几何处理、分幅注记

3. 粗加工处理——去斜纠正法: 改正像素地面尺寸在 x,y 方向不等、地球自转、以及轨道面偏斜因素所引起的图像变形的因素所引起的图像变形。

4. 粗加工处理——测定参数法: 对其图像的纠正就需要得到成像时投影中心的大地坐标 [X、Y、Z], 扫描仪姿态角以确定旋转矩阵 A_t , 扫描角 θ 以及焦距 f 。

5. 遥感图像的精加工处理: 在粗加工处理的基础上, 采用地面控制点的方法进一步提高影像的几何精度。

6. 精加工处理的控制点的要求:

1) 控制点的要求: 影像上的明显地物点、影像中均匀分布、要满足一定的数量要求

2) 控制点获取方法: GPS 或野外测量、地形图上读取

7. 精加工处理的两个环节:

1) 像素坐标的变换: 图像坐标→地图或地面坐标

2) 重采样: 对坐标变换后的像素亮度值进行重采样

8. 数字图像纠正模型:

1) 多项式法: 例如二次多项式变换公式为:

$$x_i = a_0 + a_1 X_1 + a_2 Y_1 + a_3 X_1 Y_1 + a_4 X_1^2 + a_5 Y_1^2$$

$$y_i = b_0 + b_1 X_1 + b_2 Y_1 + b_3 X_1 Y_1 + b_4 X_1^2 + b_5 Y_1^2$$

一次多项式需要 4 个以上点

二次多项式需要 7 个以上点

三次多项式需要 11 个以上点

- 2) 共线方程法：当地形起伏较大，且多项式纠正的精度不能满足要求时，要用共线方程进行纠正。
- 3) 基于小面元的微分纠正：基于三角网，对每一个小三角形面元都拟合多项式进行微分纠正。
- 4) 数字图像纠正模型的算法设计：
 - A. 图像特征点提取：将目标图像中的明显点提取出来作为配准的控制点。这些点特征的提取是利用兴趣算子提取的。
 - B. 预处理：人工选取几对同名点的概略位置，根据这些同名点解算图像间概略的平移、旋转与缩放等预处理参数。
 - C. 粗匹配：以特征点为中心，取一矩形窗口作为目标窗口。根据先验知识的预测，从图像中取一较大的矩形窗口作为搜索窗口。将目标窗口的灰度矩阵和搜索窗口中等大的子窗口灰度矩阵进行比较。其中最相似的子窗口的中心为该特征点的同名点。
 - D. 粗匹配的结果将被作为控制，用于后续的精匹配。为提高可靠性，用由粗到细的匹配策略，特征提取与粗匹配按分层多级图像金字塔结构进行。

9. 直接法与间接法：

- 1) **直接法方案**：从原始图像阵列出发，按行列的顺序依次对每个原始像素点位求其在地面坐标系（也是输出图像坐标系）中的正确位置。

$$X = F_X(x, y); Y = F_Y(x, y)$$

- 2) **间接法方案**：从空白的输出图像阵列出发，亦按行列的顺序依次对每个输出像素点位反求原始图像坐标中的位置。

$$x = G_x(X, Y); y = G_y(X, Y)$$

10. 直接法与间接法纠正的步骤：

- 1) 纠正步骤 1：纠正后数字图像的边界范围的确定

✎ 纠正后图像的边界范围，指的是在计算机存储器中为输出图像所开出的贮存空间大小，以及该空间边界（首行，首列，末行和末列）的地图（或地面）

坐标定义值。

✧ 具体步骤：

- 把原始图像的四个角点 a, b, c, d 按纠正变换函数投影到地图坐标系统中去, 得到 8 个坐标值如 (X_a', Y_a') ;
- 对这 8 个坐标值按 X 和 Y 两个坐标组分别求其最小值 (X_1, Y_1) 和最大值 (X_2, Y_2) , 并令 X_1, Y_1, X_2, Y_2 为纠正后图像范围四条边界的地图坐标值。
- 根据精度要求定义输出像素的地面尺寸 ΔX 和 ΔY : 图像总的行列数 M 和 N 由下式确定: $M=(Y_2-Y_1)/\Delta Y+1$ $N=(X_2-X_1)/\Delta X+1$
- 由地面坐标转化到输出图像坐标: (x', y')

$$\begin{aligned} x'_p &= (Y_2 - Y_p) / \Delta Y + 1 \\ y'_p &= (X_p - X_1) / \Delta X + 1 \end{aligned}$$

其中 (X_p, Y_p) 为纠正后像素 p 的地面坐标

(X'_p, Y'_p) 为纠正后像素的图像坐标 (行列号)

2) 纠正步骤 2: 直接法或间接法纠正

A. 建立误差方程

二次多项式间接法纠正变换公式为:

$$\begin{cases} x_i = a_0 + a_1 X_i + a_2 Y_i + a_3 X_i Y_i + a_4 X_i^2 + a_5 Y_i^2 \\ y_i = b_0 + b_1 X_i + b_2 Y_i + b_3 X_i Y_i + b_4 X_i^2 + b_5 Y_i^2 \end{cases}$$

误差方程:

$$\begin{cases} V_{x_i} = a_0 + a_1 X_i + a_2 Y_i + a_3 X_i Y_i + a_4 X_i^2 + a_5 Y_i^2 - x_i \\ V_{y_i} = b_0 + b_1 X_i + b_2 Y_i + b_3 X_i Y_i + b_4 X_i^2 + b_5 Y_i^2 - y_i \end{cases}$$

简化为:

$$\begin{cases} V_{x_i} = A \Delta a - Lx \\ V_{y_i} = A \Delta b - Ly \end{cases}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_1 & X_1 Y_1 & X_1^2 & Y_1^2 \\ 1 & X_2 & Y_2 & X_2 Y_2 & X_2^2 & Y_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_n & Y_n & X_n Y_n & X_n^2 & Y_n^2 \end{bmatrix}$$

$$Lx = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]^T$$

$$Ly = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_n]^T$$

$$\begin{bmatrix} V_{x_i} \\ V_{y_i} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \Delta a \\ \Delta b \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Lx \\ Ly \end{bmatrix}$$

$$B. \text{ 建法方程: } [A^T A] \Delta a = A^T Lx \quad [A^T A] \Delta b = A^T Ly$$

$$C. \text{ 解待定系数: } \Delta a = [A^T A]^{-1} A^T Lx \quad \Delta b = [A^T A]^{-1} A^T Ly$$

$$D. \text{ 精度分析: } \delta x = ([V_{x_i}^T V_{x_i}] / (n-f))^{1/2} \quad \delta y = ([V_{y_i}^T V_{y_i}] / (n-f))^{1/2}$$

n----控制点数 f----多项式系数个数

3) 纠正步骤3: 重采样

A. 最邻近像元采样法: 该法实质是取距离被采样点最近的已知像素元素的
(N) 亮度 I_N 作为采样亮度

✧ 采样法最简单, 辐射保真度较好, 但它将造成像点在一个像素范围内的位移, 其几何精度较差。

B. 双线性内插法: 根据距离点的远近为权, 以邻近的四个像素灰度构建线性表达式。

✧ 该法重采样函数是对辛克函数的更粗略近似, 可以用如图所示的一个三角形线性函数表达。

✧ 该法的计算较为简单, 并具有一定的亮度采样精度, 所以它是实践中常用的方法, 但图像略变模糊

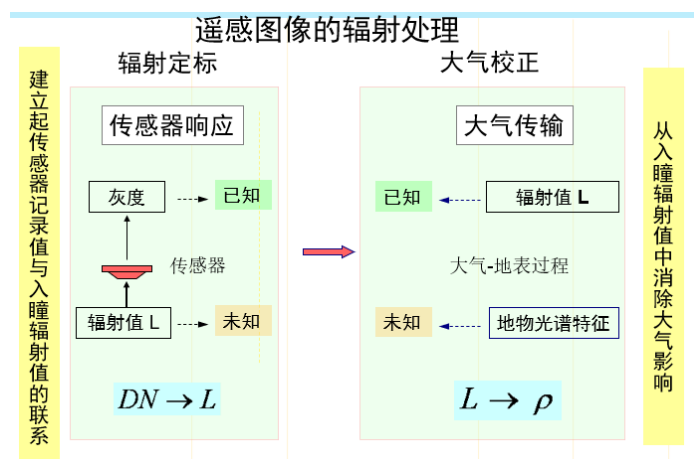
C. 双三次卷积重采样法: 该法用一个三次重采样函数来近似表示辛克函数

➤ 遥感影像镶嵌

1. 多幅不同的图像连接拼在一起, 将所有参加镶嵌的图像纠正到统一的坐标系
2. 遥感影像镶嵌的要求: 保证拼接后的图像反差一致, 色调相近; 没有明显的接缝。
3. 过程: 图像的几何纠正→搜索镶嵌边→亮度和反差调整→平滑边界线

第六章 · 遥感图像的辐射处理

➤ 遥感图像的辐射定标与校正



1. 不同波长下的地物光谱反射率，是对地物进行认知和识别的重要依据。
2. 辐射校正：从传感器在空中所获取的像元响应曲线恢复目标在不同波长下的反射率。
3. **辐射定标**：由图像中的灰度值纠正入瞳辐射值
4. **定标的类型**：实验室定标、机上和星上定标、场地定标

考虑的主要因素不同：

- 1) 实验室定标：原始定标、准确度高、是后续定标的基础
- 2) 机上星上定标：综合性定标，对前两项修正
- 3) 场地定标：反映入轨运行的实际情况

三种类型定标方式的入瞳辐射值的获取方式不同：

- 1) 实验室定标：实验室测得
 - 2) 机上星上定标：机上星上测得
 - 3) 场地定标：根据模型计算得到
5. **定标的关键**：建立起传感器各通道记录灰度值与入瞳辐射值之间的联系。
 6. 实验室定标包括**光谱定标**和**辐射定标**两部分。
 7. **实验室定标的线性方程**：

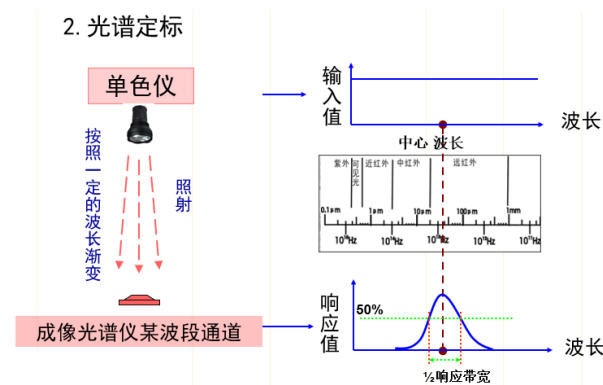
$$L = A_i \times DN + B_i \quad i \text{ 表示第 } i \text{ 通道；}$$

变量：L 表示入瞳辐射值；DN 表示传感器记录数；

参数： A_i 表示增益系数； B_i 表示偏置量

8. **光谱定标**：在确定成像光谱仪增益系数和偏置量之前，必须通过的光谱定标，获取成像光谱仪**每个波段的中心波长及带宽**。

单色仪按照一定的波长渐变照射在成像光谱仪上，某波段通道对于某波长的响应值最大，则该波长称为此通道的**中心波长**。响应值 50% 处对应为 1/2 响应带宽。



9. **辐射定标**：对于每一个已知波长的通道，确定传感器在该波长下的输入辐射能与输出响应的关系。【即：针对某个波段，确定定标**增益系数**和定标**偏置量**】
10. **辐射定标的分类**：
- 1) 按照使用要求或目的分类：相对辐射定标和绝对辐射定标
 - 2) 按照光谱波段不同分类：反射辐射定标和发射辐射定标
11. **辐射定标的方法**：利用经过积分球测量得到的辐射亮度值 L 已知的光源进行拍照，从照片上读出灰度值 DN ，建立方程将 A_i 和 B_i 解算出来。
12. **遥感图像机上星上定标的必要性**：传感器的性能会随着空间环境的变化而变化，经过搬运、安装和操作等过程，定标参数会失准，因此机上或星上定标十分必要，因此遥感卫星升空后并不能马上投入观测工作。
13. **机上定标**：机上定标用来经常性的检查飞行中的定标情况，一般采用**内定标方法**。**辐射定标源、定标光学系统都在飞行器上**。
14. **星上定标**：星上定标又称**在轨定标**，受制于载荷、能耗空间等因素制约，很少进行光谱定标，主要指辐射定标。目的也是确定**辐射源与响应值**之间的关系。
- 1) 辐射源：
 - a) 星上内定标系统：星载人造辐射源
 - b) 星载太阳定标系统：以太阳为辐射源
 - 2) 优点：可对一些光学遥感实时定标
 - 3) 不足：大部分只是部分系统定标；没有模拟遥感器的成像状态；星上定标系统也不够稳定。
15. **场地定标**：是指传感器处于正常运行条件下，选择**辐射定标场地**，通过地面同步测量对传感器进行定标。
16. **场地定标的原理**：
- 1) 机载或星载成像光谱仪飞越辐射定标场地上空时，**同步地**在定标场地选择若干像元区，测量成像光谱仪对应的地物的各波段**光谱反射率**和**大气光谱**等参量。
 - 2) 然后利用**大气辐射传输模型**等手段给出成像光谱仪入瞳处各光谱带的**辐射亮度**。
 - 3) 最后确定它与传感器对应输出的数字量化值的数量关系，求解**定标系数**并估算定标**不确定性**。
17. **场地定标的特点**：



- 1) 以大面积地表均匀地物作为定标源；
- 2) 多通道、动态、大范围定标；
- 3) 考虑大气传输环境的影响
- 4) 优点：实现了对遥感器运行状态下与获取地面图像完全相同条件的绝对校正。
- 5) 不足：需要测量和计算空中遥感器过顶时的大气环境和地物反射率

18. 场地定标的一般技术流程：

- 1) 获取空中、地面及大气环境数据；
- 2) 计算大气气溶胶参数；
- 3) 计算大气中水和臭氧含量；
- 4) 采集、分析定标场的地物光谱数据；
- 5) 遥感器获取位置及成像时间；
- 6) 根据大气传输模型计算相应入瞳辐射值；
- 7) 计算定标系数并估计误差

19. 场地定标的常用方法——反射基法

认为卫星传感器所接收到的光谱辐射是太阳光谱辐射、大气及地面三者相互作用的总贡献。需要具有具有足够大面积、表面均匀反射比已知的目标——辐射校正场。

关键在于：入瞳处辐射亮度的计算方法

入瞳处辐射亮度 L 的计算（实际上可以转化为表观反射率的获取）

$$\text{表观反射率 } \rho^* = \frac{\text{辐射出射度 } M}{\text{辐射照度 } E} = \frac{\pi L}{E_s \times \cos \theta_s / d^2} \rightarrow L = \frac{E_s \times \cos \theta_s \rho^*}{\pi d^2}$$

辐射照度 E ：单位面积所接收的辐射通量（ W/m^2 ）：

$$E = E_s \times \frac{\cos \theta_s}{d^2} \quad \text{注: } d \text{ 是天文距离, 日地平均距离的倍数}$$

表观反射率由辐射校正场测量、计算得到：

$$\begin{aligned} \rho^*(\theta_v, \theta_s, \phi_v, \phi_s) &= \rho_a(\theta_v, \theta_s, \phi_v, \phi_s) + \frac{\rho}{1 - \rho \times S} T(\theta_v) T(\theta_s) \end{aligned}$$

大气固有反射率 大气总透过率 大气球面反照率 ρ 为目标反射率

20. 场地定标的常用方法——辐照度基法

辐照度基法又称**改进的反射基法**，反射基法的一个重要误差来源是对**气溶胶散射**的一些近似，如对气溶胶颗粒模型的假设，不同的气溶胶模型会对表观反射率的计算造成较大影响。

辐照度基法定标法与反射率基法的唯一不同就是加入了**漫射辐射与总辐射比**测量，这一比值包含了气溶胶的散射特征，以**实测的辐照度比**代替了反射率基法中计算气溶胶散射的假定和反演，它可以减少因气溶胶近似而产生的误差。

21. 场地定标的常用方法——辐亮度基法

由机载测量来定标星载传感器

辐亮度法的基本原理是：利用**搭载于飞机上的光谱辐射计**在中高空与卫星传感器**同步测量相同目标的辐亮度**，通过对飞行高度以上的大气订正，实现卫星遥感器的在轨辐射定标。**【星、机、地同步测量；机、地几何位置一致】**

特点：

- 1) 辐射计绝对定标：机载辐射计必须提前进行辐射定标，且最终辐射校正系数的误差以辐射计的误差为主。
- 2) 回避低层大气订正误差：由于仅需对飞行高度以上的大气进行订正，回避了低层大气的订正误差，有利于提高校正精度。
- 3) 对地表均匀性要求低：由于搭载于飞机上的辐射计地面视场较大，可在瞬间获取大量数据，所以对地表均匀性的要求较低

22. 三种场地定标方法的对比：

- 1) 计算复杂度和精度：
 - a) 反射基法：表观反射率近似计算、简单→精度较高
 - b) 辐照度法：对表观反射率解析计算、复杂→精度更高
 - c) 辐亮度法：飞得越高，订正越简单→精度较高
- 2) 优点：
 - a) 反射基法：投入测试设备、测量数据较少，省工省物且精度基本满足要求
 - b) 辐照度法：对漫射与总辐射之比进行描述，减少了误差，精度最高。
 - c) 辐亮度法：对高的飞行高度，大气校正就简单，精度越高。

3) 优点:

- a) 反射基法: 对气溶胶参数进行了假设和近似, 具有近似性
- b) 辐照度法: 测量数据相对较多, 过程较复杂
- c) 辐亮度法: 星、机、地同步观测, 设备资金和人力较多

23. 基于遥感图像特征的绝对定标(交叉定标):

在卫星发射以后, 借助**定标精度较高卫星的标准传感器**对**未定标传感器**的误差进行修正, 建立起未定标传感器响应值 DN 与辐亮度值 L 之间的定量关系。

【标准传感器的作用是: 提供观测目标已知辐亮度 L】

24. 大气校正: 根据大气状况对遥感图像测量值进行调整修正, 以消除大气影响。

【核心是估算地气系统的辐射状况及大气的光学参数】

25. 大气辐射传输影响要素:

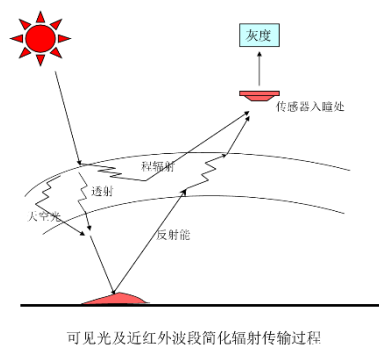
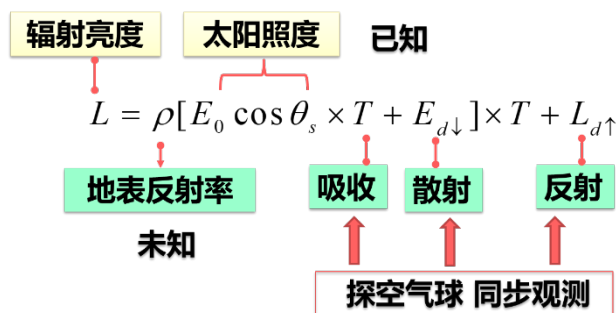
- 1) 大气反射: 通常在介质层的交会面处出现。
- 2) 大气吸收: 降低透射率, 是大气校正中的重要因素; 能级的跃迁导致波长变化; 形成大气窗口。
- 3) 大气散射: 改变传播方向, 不改变波长; 照亮阴影, 降低图像反差; 是可见光波段辐射衰减的主要原因。

26. 可见光及近红外波段的定量公式:

$$L = L_g \times T(\theta_v) + L_{d\uparrow} = \{(\rho_g/\pi)[E_0 \cos \theta_s \times T(\theta_s) + E_{d\downarrow}]\} \times T(\theta_v) + L_{d\uparrow}$$

ρ_g : 地物反射率; E_0 : 太阳辐照度; $E_{d\downarrow}$: 大气向地面散射太阳辐照度;

θ_s : 太阳天顶角; θ_v : 观测天顶角; T: 大气透射率



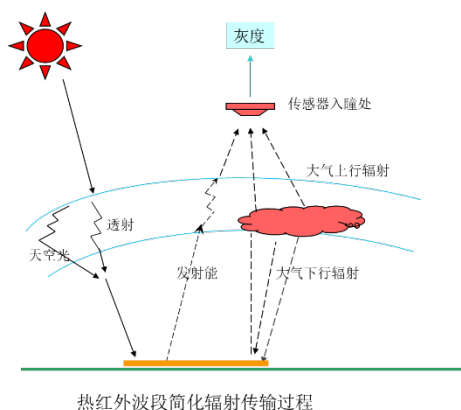
可见光及近红外波段简化辐射传输过程

27. 热红外波段的定量公式:

$$L = B(T_s) \cdot \varepsilon \cdot T(\theta_v) + L_0^{\uparrow} + (1 - \varepsilon) \cdot L_0^{\downarrow} \cdot T(\theta_v)$$

$B(T_s)$: 地物亮温; ε : 地表比辐射率; $T(\theta_v)$: 大气透射率;

L_0^{\uparrow} : 大气上行辐射; L_0^{\downarrow} : 大气下行辐射



28. 基于辐射传输模型大气校正模型

基本原理：利用基于辐射传输原理建立起来的大气校正模型校正方法是精度较高的一种方法，基本原理是利用电磁波在大气中的辐射传输原理建立起来的模型对遥感图像进行大气校正。

一般校正思路：

- 1) **辐射亮度值计算**：实现传感器定标后,把高光谱影像相应波段的象元灰度值转换成具有辐射意义的亮度值。

第 n 个像元在波长为 λ 处的辐射亮度值： $L_{\lambda,n} = A_{\lambda} \times DN_{\lambda,n} + B_{\lambda}$

- 2) **建立起入瞳辐射亮度与表观反射率的联系**：

$$\rho^* = \frac{L}{E_s \cdot \cos \theta_s / (\pi \cdot d^2)} \quad ; \quad L = \frac{\rho^* \cdot E_s \cdot \cos \theta_s}{\pi \cdot d^2}$$

- 3) **建立起地表-大气辐射关系分析模型**：

- a) 被大气衰减的下行太阳辐射通量；
- b) 散射透射辐射能量
- c) 大气固有的反射太阳辐射通量

到达传感器的辐射通量：

$$E_{des} = E_{in} \cdot [\rho_{\alpha}(\theta_s, \theta_v, \varphi_s, \varphi_v) + \frac{\rho \cdot T(\theta_s) \cdot T(\theta_v)}{1 - \rho S}]$$

$$\text{表观反射率: } \rho^* = \frac{E_{des}}{E_{in}} = \rho_{\alpha}(\theta_s, \theta_v, \varphi_s, \varphi_v) + \frac{\rho \cdot T(\theta_s) \cdot T(\theta_v)}{1 - \rho S}$$

- 4) **根据模型函数关系计算地物光谱反射率**

$$\frac{\cdot \cos \theta_s}{\pi \cdot d^2} \cdot [\rho_{\alpha}(\theta_s, \theta_v, \varphi_s, \varphi_v) + \frac{\rho \cdot T(\theta_s) \cdot T(\theta_v)}{1 - \rho S}]$$

其中， L 是已知值， ρ 为待求量，其余均为参数

典型模型：

- 1) **6S 模型**：全名为 second simulation of the satellite signal in the solar spectrum ，即太阳光谱卫星信号的二次模拟。

五类模式输入参数：**太阳、地物与传感器之间的几何关系、大气模式、气溶胶模式、传感器的光谱特性、地表反射率。**

- a) 大气模式的大气组分参数：包括水汽，灰尘颗粒度等参数
- b) 气溶胶模式的气溶胶组分参数：包括水分含量以及烟尘、灰尘等在空气中的百分比等参数。
- c) 地表反射率：可以给出真实的地表反射率来模拟表观反射率，也可以给出表观反射率来推导地表反射率。

【这五个部分构成了**大气辐射传输模型**的全过程，模拟了太阳辐射经过大气效应**到达地表**，然后由地表反射通过大气效应**到达传感器**的整个太阳辐射传输过程，而且还考虑到了地表**朗伯体和非朗伯体反射**两个方面。】

模型输出：大气参数和大气校正系数

大气参数：分为辐射部分、吸收部分和散射部分

大气校正系数： x_a 、 x_b 和 $x_c \rightarrow \rho = \frac{y}{1+x_c \times y}$ ； $y = x_a \times L_i - x_b$

- 2) LOWTRAN 模型
- 3) MORTAN 模型
- 4) ATCOR 模型

29. 辐射校正的统计学模型：

- 1) 暗目标法：基于影像特征进行，属于相对辐射校正，不能得到准确的光谱反射率。
- 2) 平面场模型：在影像中选择具有一定面积、较均匀的样区，将每个像元的灰度值除以样区的灰度平均值（逐波段进行）。只能得到相对反射率，不能做反射率的精确定量反演。
- 3) 内部平均法：首先计算整幅影像的灰度平均值，将每个像元的灰度值除以该灰度平均值（逐波段进行）。也属于相对辐射校正，用以改善图像质量。
- 4) 对数残差模型

5) 地面线性回归模型：将地面反射率与传感器入瞳值概括为线性关系。

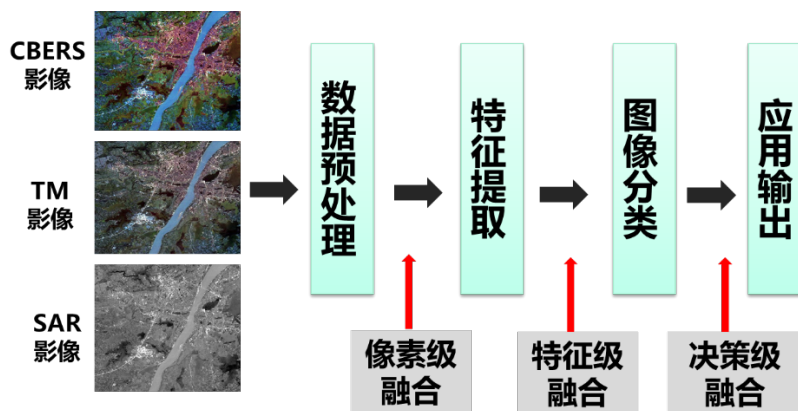
地面线性回归模型与大气辐射传输模型比较：

基于大气辐射传输模型：从物理意义出发，精确、参数多

地面线性回归经验模型：从数学拟合出发，高效、近似、需要样本

➤ 遥感图像的融合

1. **遥感影像融合的定义**：将多源遥感图像按照一定的算法，在规定的地理坐标系，将不同传感器获取的遥感影像中所提供的各种信息进行综合，生成新的图像的过程。
2. **遥感影像融合的目的**：提高对影像进行分析的能力(通过融合既提高多光谱图像空间分辨率，又保留其多光谱特性)。
3. **影像融合的层次**：
 - 1) 像素级融合：将各图像像元的物理量进行处理,该值对应为同一坐标上新图像的像元值。
 - 2) 特征级融合：对不同图像进行特征提取,按各图像上相同类型的特征进行融合。
 - 3) 决策级融合：按照应用的要求首先对图像进行分类,在属性决策的过程中综合分析多源影像。决策级融合是高水平的融合。



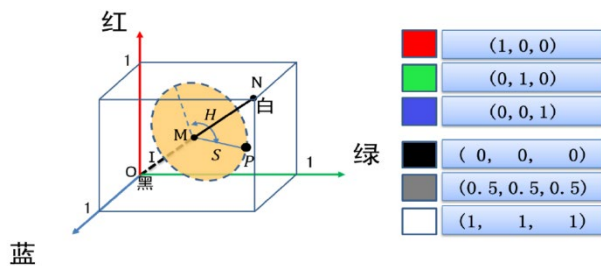
4. 基于 I H S 变换的图像融合（像素级）

全色遥感影像目标强度信息丰富，优势信息：强度值（是一个标量 I）；

多光谱遥感影像目标色彩信息丰富，优势信息：色彩值（是一个矢量 R、G、B）。

目标在于建立强度值 I 与色彩(R,G,B)的定量转换关系

IHS-RGB 变换:



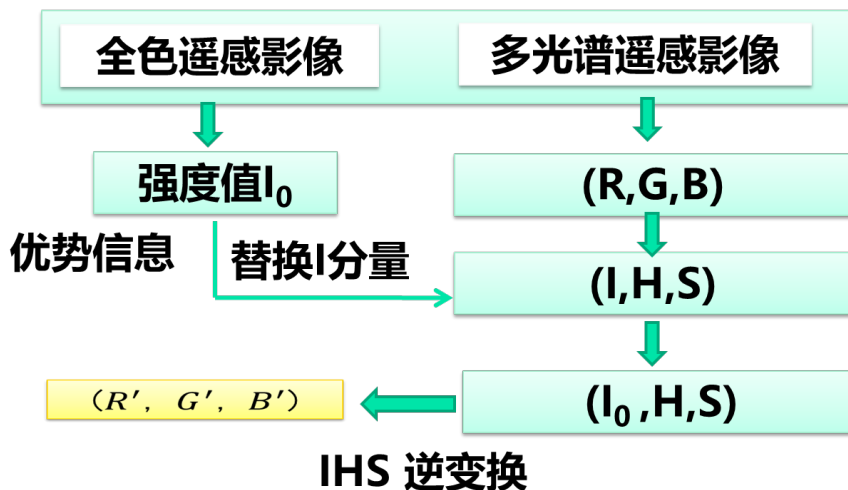
$$\begin{aligned}
 I &= \frac{1}{\sqrt{3}}(R + G + B) \\
 H &= \arctan\left(\frac{2R-G-B}{\sqrt{3}(G-B)}\right) + C \quad \begin{cases} C = 0, G \geq B \\ C = \pi, G < B \end{cases} \\
 S &= \frac{\sqrt{6}}{3} \sqrt{R^2 + G^2 + B^2 - RG - RB - GB}
 \end{aligned}$$

I 明度：是人眼对光源或物体明亮程度的感觉。物体反射率越高，明度就越高。

H 色调：是色彩彼此相互区分的特性。

S 饱和度：是色彩纯洁的程度，即光谱中波长段是否窄，频率是否单一的表示。

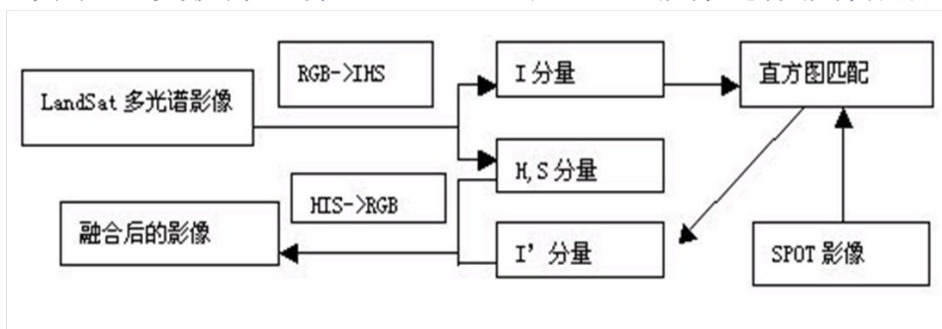
融合过程:



基于 I H S 变换的融合过程的文字描述如下:

- 1) 几何配准，并将多光谱图像重采样与全色分辨率相同；（让像素大小变成一致）；
- 2) 将多光谱图像变换转换到 IHS 空间；
- 3) 对全色图像 I' 和 IHS 中亮度分量 I 进行直方图匹配；
 【两个灰度图像可以进行直方图匹配】
- 4) 分量代替,即 IHS→I'HS;
- 5) 将 I'HS 逆变换到 RGB 空间。

采用IHS变换方法将LandSatTM和SPOT影像进行影像融合



5. 加权融合:

对两幅图像 I_i, I_j 按下式进行:

$$I'_{ij} = A (P_i I_i + P_j I_j) + B$$

其中: P_i, P_j 为两个图像的权, 其值由下式决定:

$$P_i = \frac{1 - |r_{ij}|}{2} \quad P_j = 1 - P_i$$

r_{ij} 为两幅图像的相关系数 $r_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_i \sigma_j}$, A, B 为常数。

6. 基于主分量变换的图像融合:

- 1) 对多光谱图像的多个波段进行主分量变换, 变换后第一主分量含有变换前各波段的相同信息
- 2) 然后将高分辨率图像和主成分第一分量进行直方图匹配, 使高分辨率图像与主成分第一分量图像有相近的均值和方差。
- 3) 最后, 用直方图匹配后的高分辨率图像代替主成份的第一分量进行主分量逆变换。

7. 基于小波变换的图像融合:

步骤如下:

- ①对高分辨率全色图像和多光谱图像进行几何配准, 并且对多光谱图像重采样与全色图像分辨率相同;
- ②对全色图像和多光谱图像进行直方图匹配; 【由于直方图匹配只能在灰度图像中进行, 需要多光谱图像逐个波段与全色图像进行匹配】
- ③对全色高分辨图像进行分解, 分解成 LL (低频部分), HL (水平高频), LH (垂直

高频), HH (对角高频);

④将多光谱图分解成四部份 LL, LH, HL, HH;

⑤根据需要由③, ④中的 LL, LH, HL, HH 重新组合成新的 LL, LH, HL, HH;

⑥由⑤ 所得的新的 LL, HL, LH, HH 反变换重建影像;

⑦其它波段融合重复步骤③— ⑥。

8. 比值变换融合:

比值变换融合算法按下式进行:

$$[B1 / (B1 + B2 + B3)]D = DB1$$

$$[B2 / (B1 + B2 + B3)]D = DB2$$

$$[B3 / (B1 + B2 + B3)]D = DB3$$

其中: $Bi (i = 1, 2, 3)$ 为多光谱图像; D 为高分辨率图像;

$DBi (i = 1, 2, 3)$ 为比值度变换融合图像。

比值变换融合可以增加图像两端的对比度

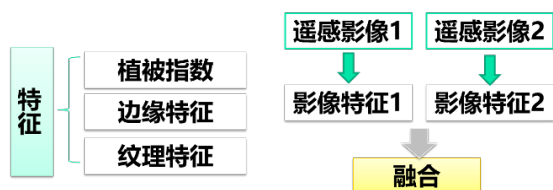
9. 乘积变换融合:

乘积变换融合算法按下式进行:

$$D * Bi = DBi$$

通过乘积变换融合得到的融合图像其亮度成分得到增加。

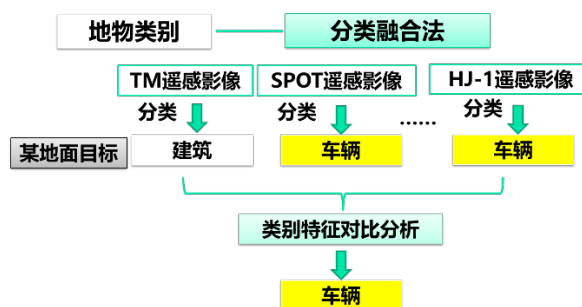
10. 基于特征的融合:



例如: 对其中一个图像作边缘提取, 然后融合到另一个图像上。

特点: 融合不针对原始遥感影像, 而是经过加工的特征。

11. 基于分类的融合:

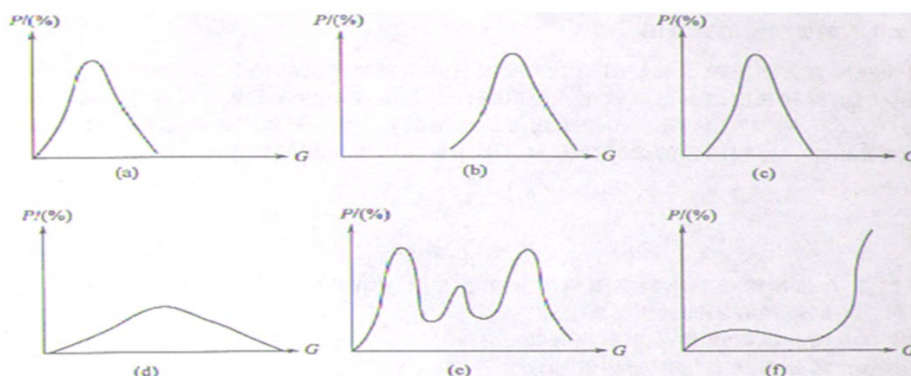


➤ 遥感图像的四则运算

1. 灰度运算——基于直方图的运算：

实质：将数字图像处理中的直方图运算方法用与遥感影像

遥感图像直方图的特征：



- a 图像直方图靠近低灰度区，该图像属于低反射率景物图像；
- b 图像为高反射率景物图像；
- c 图像直方图标准差偏小，为低反差景物图像；
- d 图像直方图的标准差较大，为高反差景物的图像；
- e 图像直方图呈现出多峰，图中有多种地物出现的频率较高；
- f 图像直方图呈现出双峰，并且高亮度地物（如云、白背景等）出现频率高。

常用方法：直方图均衡化、直方图匹配等

2. 灰度运算——灰度线性变换：

在改善图像对比度时，如果采用线性或分段线性的函数关系，那么这种变换就是线性变换。

3. 彩色运算——彩色合成：

赋给每个象元一种颜色，经计算机处理，输出按顺序排列的彩色象元点阵，这就是彩色合成图像

如何挑选最优波段组合？

1) 最佳指数： $OIF = \sum_{i=1}^3 S_i / \sum_{i=1}^3 |R_{ij}|$

S_i 为第 i 个波段的标准差； R_{ij} 为 i 、 j 两波段的相关系数

2) 联合熵:

$$H(X_1, X_2, X_3) = - \sum_{i_1, i_2, i_3=0}^{255} P_{i_1 i_2 i_3} \log_2 (P_{i_1 i_2 i_3})$$

4. 彩色运算——伪彩色增强:

5. 波段间运算:

1) 减法运算: $Bm = BX - BY$

其中 BX 、 BY 为两个不同波段的图像或者不同时相同一波段图像。

当为两个不同波段的图像时, 通过减法运算可以 **增加不同地物间光谱反射率以及在两个波段上变化趋势相反时的反差**。而当为两个不同时相同波段图像相减时, 可以 **提取波段间的变化信息**。

2) 加法运算: $B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Bi$

通过加法运算可以加宽波段, 如蓝色、绿色波段和红色波段图像相加可以得到近似全色图像。

3) 乘法运算: $B = (\prod Bi)^{1/m}$

乘法运算结果与加法运算结果类似

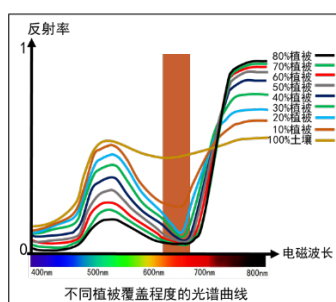
4) 除法运算: $B = Bx / By$

通过比值运算能抑制因 **地形坡度和方向** 引起的辐射量变化, 消除地形起伏的影响

5) 混合运算: 加减乘除多种方法综合运算

例如: 归一化差值植被指数(NDVI): 能够部分消除与太阳高度角、卫星观测角、地形、云影等与大气条件有关的辐射变化(乘性因素)的影响

【NIR: 近红外, R: 红光】



$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}}$$

叶绿素强烈吸收
 ↓
 红光反射率触底

思考: 如何解决这一问题?

绿通道植被指数(Green NDVI): $GNDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Green}}{\rho_{NIR} + \rho_{Green}}$

6. 特征提取与投影变换

- 1) 特征提取是指对原始的光谱空间特征进行重新组合和优化, 提取出最适合当前应用需求的新特征。
- 2) 投影变换是实现特征提取一类方法。

7. 投影变换——主分量变换: K-L 变换(Karhunen-Loeve)

K-L 变换: 它是对某一多光谱图像 X, 利用 K-L 变换矩阵 A 进行线性组合, 而产生一组新的多光谱图像 Y. $Y = AX$

特点: 变换后的主分量空间与变换前的多光谱空间坐标系相比旋转了一个角度。新坐标系的坐标轴一定指向数据量较大的方向。

该变换的几何意义是把原始特征空间的特征轴旋转 to 平行于混合集群结构轴的方向上去。

作用: 达到数据压缩、提高信噪比、提取相关信息、降维处理和提取原图像特征信息的目的。

主分量变换计算步骤如下:

- (1) 计算多光谱图像的均值向量 M 和协方差矩阵 C。
- (2) 计算矩阵 C 的特征值 λ_r 和特征向量 φ_r , ($r = 1, 2, \dots, M$), M 为多光谱图像的波段数。
- (3) 将特征值 λ_r 按由大到小的次序排列, 即 $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_m$ 。
- (4) 选择前几个特征值对应的几个特征向量构造变换矩阵 A。
- (5) 根据 $Y = AX$ 进行变换, 得到的新特征影像就是变换的结果, X 为多光谱图像的一个光谱特征矢量。

例子: 有三波段影像, 其灰度为:

$$X1[0 \ 1 \ 1 \ 1], \quad X2[0 \ 0 \ 0 \ 1], \quad X3[0 \ 0 \ 0 \ 1]$$

其均值为:

$$M1 = \frac{0 + 1 + 1 + 1}{4} = \frac{3}{4}; \quad M2 = \frac{1}{4}; \quad M3 = \frac{1}{4}$$

协方差: $\delta_{ij} = \frac{1}{N} \sum_k (x_{ik} - m_i)(x_{jk} - m_j)$

$$\delta_{11} = [(0-3/4)(0-3/4) + 3(1-3/4)(1-3/4)]/4 = 3/16$$

$$\delta_{12} = [(0-3/4)(0-1/4) + (1-3/4)(0-1/4) + (1-3/4)(1-1/4) + (1-3/4)(0-1/4)]/4 = 1/16$$

同理: $\Sigma = \begin{pmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \delta_{13} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{23} \\ \delta_{31} & \delta_{32} & \delta_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3/16 & 1/16 & 1/16 \\ 1/16 & 3/16 & -1/16 \\ 1/16 & -1/16 & 3/16 \end{pmatrix}$

由 $|\Sigma - \lambda E| = 0$ 得到: $\lambda_1 = \lambda_2 = 0.25$; $\lambda_3 = 0.0625$

特征向量矩阵 A 为:

$$\begin{pmatrix} 0.0000 & 0.9294 & 0.3690 \\ 0.7071 & -0.2610 & 0.6572 \\ -0.7071 & -0.2610 & 0.6572 \end{pmatrix}^T$$

$Y=AX$:

$$\begin{pmatrix} 0.0000 & 0.9294 & 0.3690 \\ 0.7071 & -0.2610 & 0.6572 \\ -0.7071 & -0.2610 & 0.6572 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

第七章 · 遥感影像判读

➤ 景物特征和判读标志

- 遥感影像判读:** 对遥感图像上的各种特征进行综合分析、比较、推理和判断, 最后提取出所感兴趣的信息。
- 景物特征:** 光谱特征、空间特征、时间特征、极化特征
景物的这些特征在图像上以灰度变化的形式表现出来, 因此图像的灰度是以上特征的函数: $d = f(\Delta\lambda, X, Y, \Delta t)$
- 光谱特征及其判读标志:**
 - 光谱特性曲线: 反射率与波长的关系
 - 波谱响应曲线: 密度或亮度值与波段的关系

光谱特性曲线和波谱响应曲线一致可作为判读标志

☆色调与色彩对不同类型的遥感图像其意义是不一样的

- 1) 热红外图像色调差别是物体辐射温度的差别;
- 2) 侧视雷达图像色调表示物体反射微波能量大小;
- 3) 多光谱图像对彩色物体的色调判读, 要按反射率的强弱与波长之间的关系来定。
4. 空间特征:
由不同的色调表现出来的形状、大小、图形、阴影、位置、纹理、类型。
 - 1) 形状指各种地物的外形、轮廓
 - 2) 大小指地物的尺寸、面积、体积
 - 3) 图形指自然或人造复合地物所构成的图案
 - 4) 阴影表示了地物隆起的高度, 又显示了地物侧面形状
不同类型的遥感图像阴影意义不同:
 - a) 可见光范围内的阴影
 - i. 本影: 地物未被阳光直接照射部分的图像
 - ii. 落影: 目标投落在地面的影子的图像
 - b) 热红外图像上的阴影→温度较低的地物
 - c) 雷达图像阴影→盲区
 - 5) 位置: 地物存在的地点和所处的环境
 - 6) 纹理: 图像上细部结构以一定频率重复出现, 是单一特征的集合
 - 7) 类型: 如水系类型、地貌类型、地质构造类型、土壤类型、土地利用类型等
5. 时间特征: 景物的时间特征在图像上以光谱特征及空间特征的变化表现出来
6. 判读标志
 - 1) 直接判读标志: 直接反映和表现目标地物信息的各种特征。包括遥感摄影像片上目标地物大小、形状、阴影、色调、纹理、图型和位置及与周围的关系等。
 - 2) 间接标志
7. 影响景物特征及其判读的因素:
 - 1) 地物的复杂性
 - 2) 传感器特性: 传感器特性对判读标志影响最大的是分辨力
 - a) 空间分辨力: 瞬时视场内所观察到的地面的大小称空间分辨力 (即每个像元在地面的大小)
 - b) 几何分辨力: 假定像元的宽度为 a , 则地物宽度在 $3a$ (海拉瓦)或至少在

(康内斯尼) 时, 能被分辨出来。

c) 辐射分辨力 (传感器的探测能力): 辐射分辨力是指传感器能区分两种辐射强度最小差别的能力

d) 信噪比: 传感器的输出包括信号和噪声两大部分。如果信号小于噪声, 则输出的是噪声。

如果两个信号之差小于噪声, 则在输出的记录上无法分辨这两个信号。实际输入信号功率要大于或等于 2—6 倍等效噪声功率时, 才能分辨出信号来

e) 光谱分辨力: 光谱探测能力, 包括传感器总的探测波段的宽度、波段数、各波段的波长范围和间隔

f) 时间分辨力: 对同一地区重复获取图像所需的时间间隔

时间分辨力愈短的图像, 能更详细地观察地面物体或现象的动态变化。

与光谱分辨力一样并非时间越短越好, 也需要根据物体的时间特征来选择一定时间间隔的图像。

3) 目视能力:

a) 人眼目视能力包括: 空间分辨能力、灰阶分辨能力、色别与色阶分辨能力

b) 人眼的空间分辨能力与: 眼睛张角 (分辨角)、影像离人眼的距离、照明条件、图像的形状、反差等有关;

➤ 目视判读的一般过程和方法

1. 判读前的准备:

1) 判读员的训练: 判读员的训练包括判读知识、专业知识的学习和实践训练两个方面。

2) 搜集充足的资料: 需收集的资料包括历史资料、统计资料、各种地图及专题图, 以及实况测定资料和其它辅助资料等等。

3) 了解图像的来源、性质和质量: 应清楚了解图像的几何分辨力、辐射分辨力、光谱波段的个数和波长区间、时间重复性、像片的反差、最小灰度和最大灰度等。

4) 判读仪器和设备: 放大镜和各种立体镜及计算机屏幕

2. 判读的一般过程:

1) 发现目标: 先大后小, 由易入难, 由已知到未知, 先反差大的目标后反差小的目

标，先宏观观察后微观分析等，并结合专业判读的目的去发现目标

- 2) 描述目标：将描述的标准目标特征，分门别类地列记下来，形成一览表，即建立判读标志，作为判读的依据。
- 3) 识别和鉴定目标：利用已有的资料、对描述的目标特征，结合判读员的经验，通过推理分析（包括必要的统计分析）将目标识别出来。
 - a) 对比分析：包括多波段、多时域图像、多类型图像的对比分析和各判读标志的对比分析
 - b) 综合分析：主要应用间接判读标志、已有的判读资料、统计资料，对图像上表现得很不明显，的物体、现象进行判读
 - c) 参数分析
- 4) 清绘和评价目标：图上各种目标识别并确认后应清绘成各种专题图。对清绘出的专题图可量算各类地物的面积，估算作物产量和清查资源等，经评价后提出管理、开发、规划等方面的方案

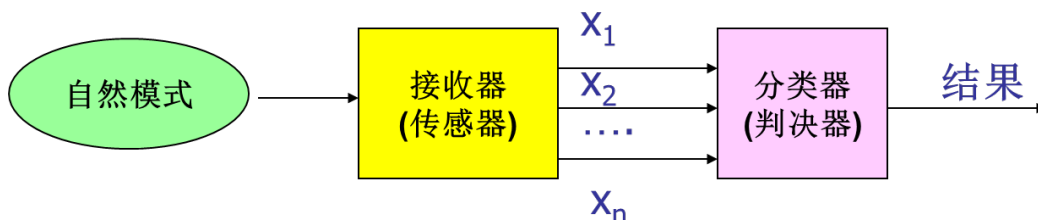
➤ 遥感图像目视判读举例

1. 单波段像片的判读：对于单波段的可见光、近红外像片，从其色调特征和空间特征、时间特征来分析判读。
2. 多光谱像片的判读：
 - 1) 彩色(假彩色)合成（最佳波段组合）
 - 2) 地物的光谱响应曲线
 - 3) 类别边界和类别属性结合
3. 侧视雷达像片的判读
 - 1) 入射方向
 - 2) 几何特征
 - 3) 地面粗糙程度
 - 4) 地物的电特性（复合介电常数）
 - 5) 动态变化信息

第八章·遥感影像自动识别分类

➤ 基础知识

1. **计算机自动分类**：利用**计算机技术**来模拟人类的**识别**功能，对遥感图像上的信息进行**属性**的自动判别和分类，达到提取所需地物信息的目的。
2. **模式识别系统的模型**

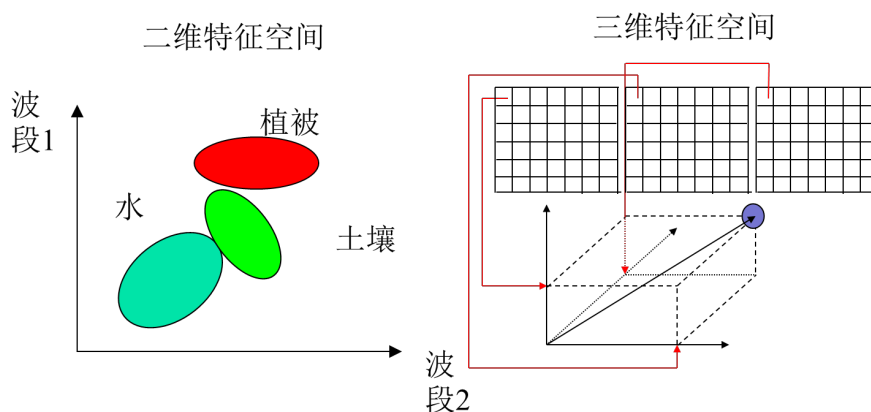


3. **光谱特征空间**：

地物点在不同波段图像中亮度的观测量构成一个多维的随机向量 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 称为光谱特征向量。

式中 n —— 图像波段总数； x_i —— 地物图像点在第 i 波段图像中的亮度值

用亮度值轴构成一个直角坐标空间即为特征空间：



4. **地物聚类**

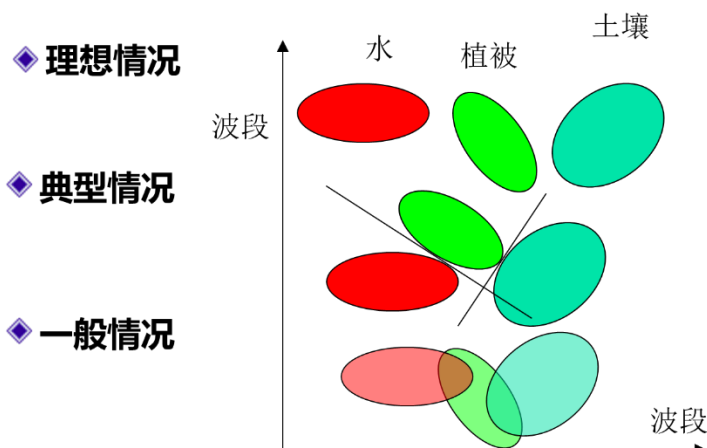
聚类的特点：同类地物在光谱特征空间中不可能是一个点，而是形成一个相对聚集的点群。不同地物的点群在特征空间内一般是分布不同。

5. 地物在特征空间中聚类的统计特性：

6. **地物在特征空间中的聚类情况**：

- 1) 理想情况——可相互区分：
- 2) 一般情况——重叠现象
- 3) 典型情况——在任一子空间中都有相互重叠的现象存在，但在总的特征空间中可

以完全区分【可采用特征变换使之变成理想情况进行分类】



➤ 特征变换与特征选择

1. 选择一组最佳的特征影像进行分类，这就称为特征选择。
2. 特征选择的方法：
 - 1) 目视法：通过目视判读衡量影像质量
 - 2) 距离测度：选择的一组特征能使感兴趣类别的类内距离最小，而与其它类别的类间距离最大，用这组特征设计的分类器分类效果最好。
 - 3) 散布矩阵测度：用矩阵形式来表示模式类别在特征空间中的散布情况，类的内部越紧密越好，类之间越分散越好。

➤ 监督分类

1. **监督分类的基本原理**：确定每个类别的样区→学习或训练→确定判别函数和相应的判别准则→计算未知类别的样本观测值函数值→按规则进行像元的所属判别。

判决函数：用来表示和鉴别某个特征矢量属于哪个类别的函数

判别规则：判断特征矢量属于某类的依据

2. **概率判决函数和贝叶斯判决规则**：对于已有样本数据以错分概率或风险最小为准则的判别规则

根据概率判决函数和贝叶斯判决规则来进行的分类通常称为最大似然分类法。

概率判别函数：把某特征矢量 (X) 落入某类集群的**条件概率**当成分类判决函数（概率判决函数）

贝叶斯判别规则：把 X 落入某集群 w_i 的条件概率 $P(w_i/X)$ 最大的类为 X 的类别

贝叶斯公式: $P(\omega_i/X) = \frac{P(X/\omega_i) \cdot P(\omega_i)}{P(X)}$

$P(\omega_i)$ —— ω_i 类出现的概率, 也称先验概率;

$P(X/\omega_i)$ ——在 ω_i 类中出现 X 的条件概率, 也称 ω_i 类的似然概率;

$P(\omega_i/X)$ —— X 属于 ω_i 的后验概率;

判决函数: $d_i(X) = P(X/\omega_i)P(\omega_i)$

取对数方式处理: $d_i(X) = \ln P(X/\omega_i) + \ln P(\omega_i) \rightarrow d_i(X) = -\frac{1}{2}(X - M_i)^T \Sigma_i^{-1}(X - M_i) - \frac{n}{2} \ln 2\pi - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| + \ln P(\omega_i)$

去掉与 i 值无关的项, 简化为 $d_i(X) = -\frac{1}{2}(X - M_i)^T \Sigma_i^{-1}(X - M_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| + \ln P(\omega_i)$

贝叶斯判决规则: 对所有可能的 $j = 1, 2, 3, \dots; j \neq i$, 有 $d_i(X) > d_j(X)$, 则 X 属于 ω_i 类

3. **距离判决函数和判决规则:** 基本思想是设法计算未知矢量 X 到有关类别集群之间的距离, 哪类距离它最近, 该未知矢量就属于那类。

☆ **概率判决函数偏重于集群分布的统计性质;**

☆ **距离判决函数偏重于集群分布的几何位置**

基于距离判别函数和判别规则, 在实践中以此为原理的分类方法称为最小距离分类法

距离判别规则是按最小距离判别的原则:

- 1) 马氏 (Mahalanobis) 距离 :

判别函数: 在各类别先验概率和集群体积 $|\Sigma|$ 都相同的情况下的概率判别函数:

$$d_{Mi} = (X - M_i)^T \Sigma_i^{-1} (X - M_i)$$

几何意义: X 到类重心之间的加权距离, 其权系数为协方差。

- 2) 欧氏 (Euclidean) 距离: 在马氏距离的基础上, 作下列限制: 将协方差矩阵限制为对角的; 沿每一特征轴的方差均相等。

$$d_{Ei} = (X - M_i)^T (X - M_i) = \|X - M_i\|^2$$

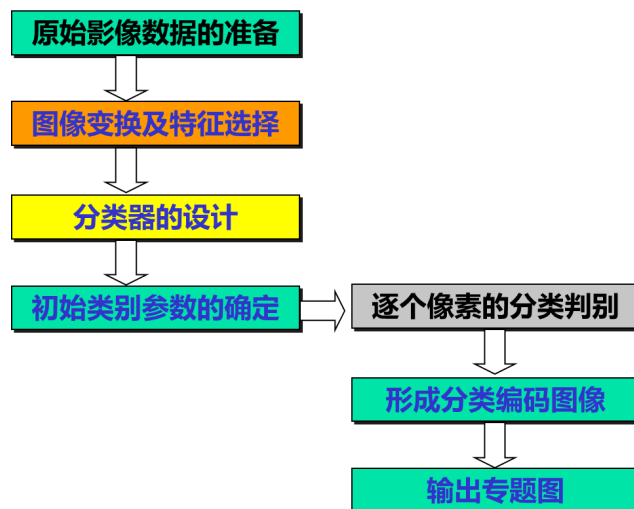
欧氏距离是马氏距离用于分类集群的形状都相同情况下的特例。

- 3) 计程 (Taxi) 距离: X 到集群中心在多维空间中距离的绝对值之总和来表示

$$d_{Ti} = \sum_{j=1}^m |X - M_{ij}|$$

4. 其它的判决函数和判决规则：盒式分类法

5. 监督分类的分类过程：



6. 影响监督分类精度的因素：

- 1) 特征变换和特征选择→根据感兴趣地物的特征进行有针对性的特征变换，加快分类速度，提高分类精度。
- 2) 分类的类别数与实际是否相符
- 3) 训练样区的选择
 - a) 准确性：要确保选择的样区与实际地物的一致性；
 - b) 代表性：一方面指所选择区为某一地物的代表，另一方面还要考虑到地物本身的复杂性，所以必须在一定程度上反映同类地物光谱特性的波动情况；
 - c) 统计性：有足够多的像元。
- 4) 分类方法（判决函数和判决规则）

7. 监督法分类的优缺点：

- 1) 优点：
 - ①根据应用目的和区域，有选择的决定分类类别，避免出现一些不必要的类别；
 - ②可以控制训练样本的选择；
 - ③可以通过检查训练样本来决定训练样本是否被精确分类，从而避免分类中的严重错误,分类精度高；
 - ④避免了对光谱集群的重新归类；
 - ⑤分类速度快。
- 2) 缺点：
 - ①主观性；
 - ②由于图象中间类别的光谱差异，使得训练样本没有很好的代

表性；③训练样本的获取和评估花费较多人力时间；④只能识别训练中定义的类别。

➤ 非监督分类

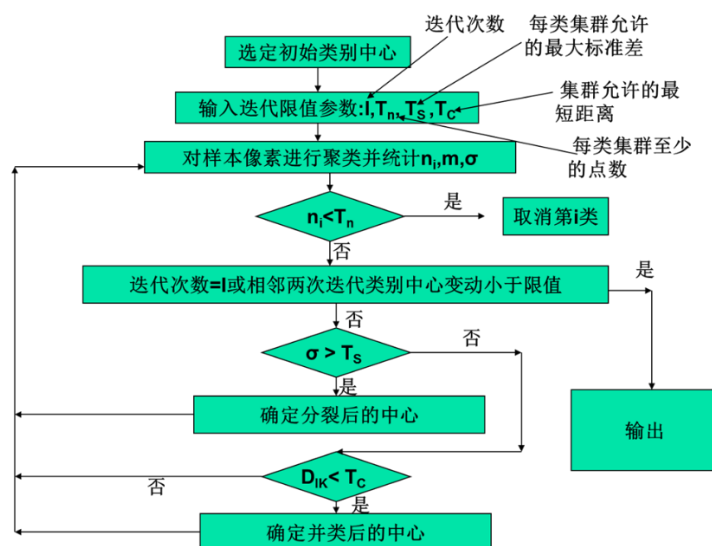
1. **非监督分类原理**：仅凭遥感影像地物的光谱特征的分布规律，即自然聚类的特性，进行“盲目”的分类；类别的属性是通过分类结束后目视判读或实地调查确定的。

2. **K-均值聚类法**：

K-均值算法的聚类准则是使每一聚类中，多个模式点到该类别的中心的距离的平方和最小。

基本思想是：通过迭代，逐次移动各类的中心，直至得到最好的聚类结果为止。

3. **ISODATA 算法聚类分析**：可以自动地进行类别的“合并”和“分裂”，从而得到类数比较合理的聚类结果



ISODATA 算法过程框图

4. **平行管道法聚类分析**：它以地物的光谱特性曲线为基础，同类地物在特征空间上表现为以特征曲线为中心，以相似阈值为半径的管子，此即为所谓的“平行管道”。【这种聚类方法实质上是一种基于最邻近规则的试探法。】

5. **监督与非监督结合分类**：通过**非监督法**将一定区域聚类成不同的单一类别；**监督法**再利用这些单一类别区域“训练”计算机；使分类精度得到保证的前提下，分类速度得到了提高。

➤ 分类后处理与精度评价

1. 分类后处理:

- 1) 分类后专题图像的格式: 遥感影像经分类后形成的专题图, 用编号、字符、图符或颜色表示各种类别。
- 2) 后处理: 用光谱信息对影像逐个像元地分类, 在结果的分类地图上会出现“噪声”, 平滑时中心像元值取周围占多数的类别。

2. 分类后的误差分析: 利用一些样本对分类误差进行估计。

3. 采集样本的方式有三种类型:

来自监督分类的训练样区; 专门选定的试验场; 随机取样。

4. 混淆矩阵→分类精度的评定

实际类别	试验像元的百分比%			试验像元	
	类别1	类别2	类别3		
1	84.3	4.9	10.8	100%	102
2	8.5	80.3	11.2	100%	152
3	6.1	4.1	89.8	100%	49

- 1) 平均精度: $S = (84.3\% + 80.3\% + 89.8\%) / 3 = 84.8\%$
- 2) 加权平均精度 $S = 84.3\% * 102 + 80.3\% * 152 + 89.8\% * 49 / (102 + 152 + 49) = 83.2\%$

5. 分类后的误差分析→Kappa 分析 (系数): $K = \frac{N \sum_{i=1}^r p_{ii} - \sum_{i=1}^r (p_{i+} p_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (p_{i+} p_{+i})}$

6. 提高分类精度的方法:

- 1) 分类前预处理: 校正 (辐射和几何)、变换、空间信息提取 (纹理)
- 2) 分类树与分层分类: 一次分类不能满足精度要求时, 进行多次分类
- 3) 混合分类 (多分类器结合): 监督法与非监督法
- 4) 多种信息复合: 遥感信息非遥感信息
- 5) 与 GIS 集成: GIS 与遥感数据复合分类、间接支持分类、用于选样区, 检验样区, 纠正等
- 6) 基于目标的遥感图像分类: 图象分割、模糊分类、精度评定

➤ 遥感影像分类识别新方法

1. 高光谱遥感岩矿识别
2. 面向对象的遥感影像分类



3. 非光谱信息辅助遥感分类